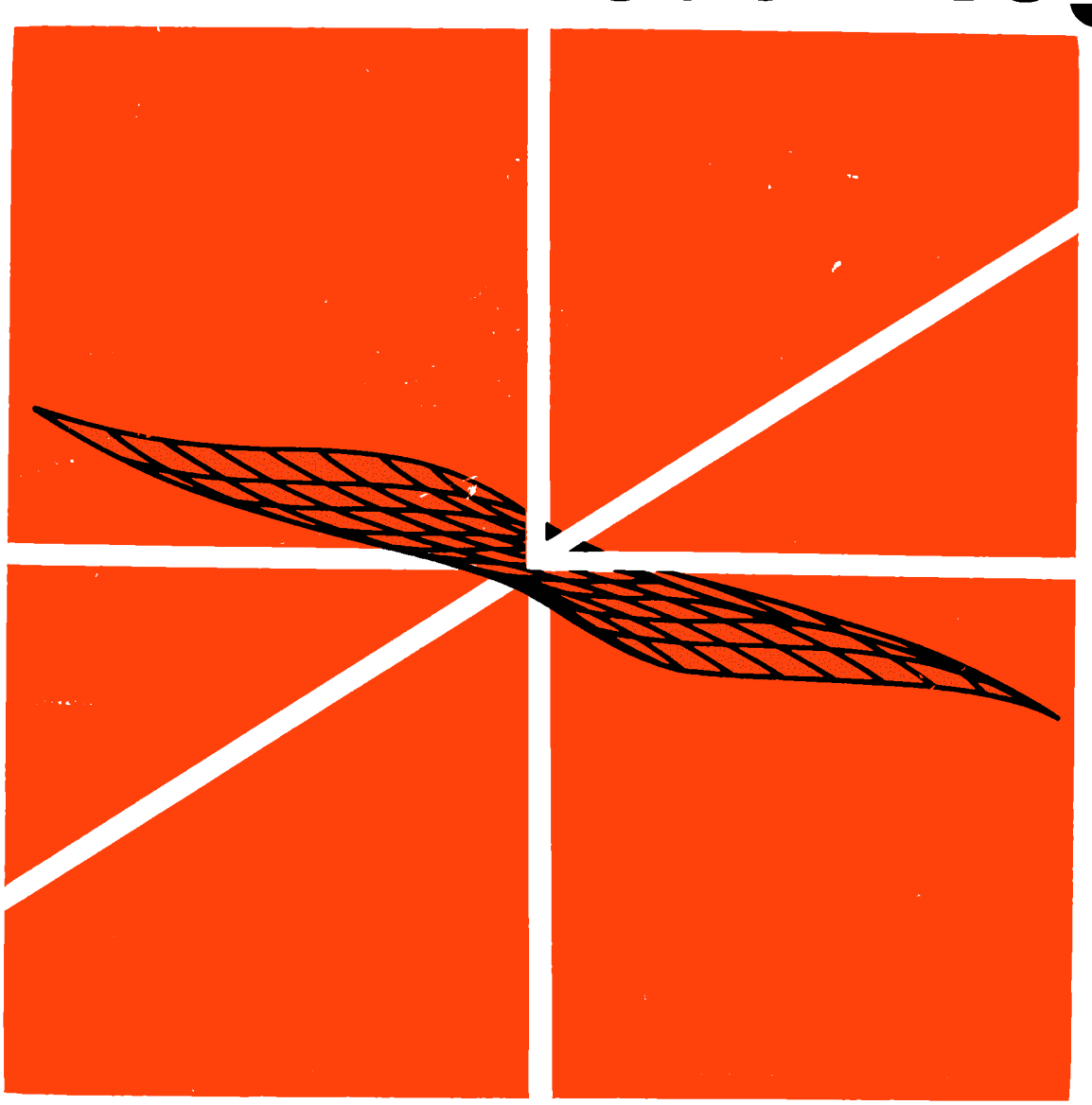
mst

9

1988

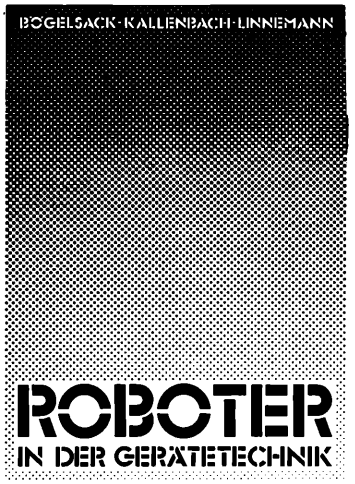
VEB
Ammendorfer
Plastwerk
Wissenschaftliche
Bibliothek - PSF 18
Halle - 4073

messen·steuern·regeln



VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,- M

Roboter in der Gerätetechnik



Auslieferung durch den Fachbuchhandel.

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Bögelsack, Prof. Dr. sc. techn. Eberhard Kallenbach und Prof. Dr.-Ing. Gerhard Linnemann

396 Seiten, 301 Bilder, 37 Tafeln, Leinen, DDR 40,— M, Ausland 48,— DM. Bestellangaben: 553 340 9/Bögelsack, Gerätetechnik

Mit der Einführung der Mikroelektronik hat sich die Leistungsfähigkeit von Robotern bezüglich Informationsverarbeitung, Sensorik, Steuerung und Flexibilität so erhöht, daß sie auch in der Gerätetechnik breit einsetzbar sind. Aufgrund der besonderen Anforderungen der Gerätetechnik weisen solche Roboter deutliche Unterschiede zu Robotern des Maschinenbaus auf. Roboter für die Gerätetechnik bewegen kleinere Massen, haben kürzere Wege zu bewältigen und teilweise extrem hohe Genauigkeiten zu erzielen. Diese Aufgaben sind nur durch spezielle Roboterstrukturen, Antriebselemente, Steuerungen und Sensoren zu erfüllen.
Im Buch werden die Fragen der Entwicklung und Konstruktion dieser Roboter komplex dargestellt. Im Mittelpunkt stehen die Berechnung der komplizierten dynamischen Probleme, der Entwurf robotergerechter Informationsverarbeitungssysteme auf Mikrorechnern, die optimale Steuerung, die Dimensionierung hochgenauer und extrem schneller Antriebe und die entsprechende Sensorik.
Das Buch wurde von einem Kollektiv erfahrener Hochschullehrer und Fachleute erarbeitet, die seit Jahren erfolgreich mit der Entwicklung und dem Einsatz von Robotern beschäftigt sind. Die Autoren wollen Konstrukteure, Entwickler und Technologen erreichen, die sich im Gerätebau, in der Elektronikindustrie, in der Automatisierungstechnik und in der Konsumgüterindustrie mit der Entwicklung und dem Einsatz von Robotern konfrontiert sehen.

AUS DEM INHALT

Einführung in die Robotertechnik
Zielstellung, Grundbegriffe und Klassifizierung. Grundpositionen für Entwicklung und Einsatz

Struktur und Eigenschaften von Industrierobotern
Struktur der Führungsmechanismen. Greifertechnik. Gebrauchseigenschaften und Kenngrößen

Kinematik, Dynamik und Schwingungen von Industrierobotern
Kinematische Analyse der offenen und der geschlossenen kinematischen Kette. Dynamische Analyse unter Anwendung von Übertragungsmatrizen bzw. des Lagrange-Formalismus. Ermittlungen der Führungsgrößen. Schwingungen

Steuerungen und Antriebe
Funktion und Struktur von Robotersteuerungen. Funktion und Struktur von Roboterantrieben

Sensorik
Einleitung. Taktile Sensoren. Approximative Sensoren. Optoelektronische Bildsensoren, Kamerasysteme. Optoelektronische Erkennungssysteme

Konstruktive Probleme bei Robotern
Spezifische Konstruktionsmerkmale von Robotern der Gerätetechnik. Funktionelle Gliederung. Mechanischer Aufbau. Zur Anwendung des Baukastenprinzips in der Robotertechnik. Mechanische Funktionsgruppen in Robotern. Der konstruktive Entwicklungsprozeß von Robotern. Konstruktionsprinzipien. Gestaltungsrichtlinien

Einsatzperspektiven von Industrierobotern

Literaturverzeichnis · Sachwörterverzeichnis

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:
Dr. rer. nat. A. BORGWARDT, Prof. Dr. sc. techn. G. BRACK, Dipl.-Ing. H.-H. EHLERT, Prof. Dr. sc. techn. W. FRITZSCH, Prof. Dr. sc. techn. H. FUCHS, Dr. rer. nat. H. GENA, Dipl.-Ing. H. GOTTSCHALK, Dr.-Ing. K. HILSCHER, Prof. Dr.-Ing. habil. D. HOFMANN, Dr.-Ing. G. MEISTER, Dr.-Ing. J. MÜLLER, Prof. Dr. sc. techn. R. MÜLLER, Prof. Dr. sc. techn. P. NEUMANN, Prof. Dr.-Ing. S. PILZ, Prof. em. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. E. h. K. REINISCH, Prof. Dr. sc. techn. W. RICHTER, Dr.-Ing. H. SCHULZE, Prof. Dr. sc. techn. H. TÖPFER, Prof. Dr. sc. oec. G. VIEHWEGER, Prof. Dr. sc. techn. W. WELLER, Prof. Dr. sc. techn. J. WERNSTEDT

Zum Titelbild:

Die direkte Automatisierung von Prozeßsteuerungen ist mit selbstorganisierenden Klassenreglern, die das Verhalten des Prozeßbedieners durch Lernen am gesteuerten Prozeß erfassen, mit relativ geringem Aufwand möglich. Simulationsergebnisse bestätigen diesen Lösungsweg. Unser Titelbild zeigt eine nichtlineare Reglerfunktion, die vom Klassenregler durch Training zu erlernen ist. Näheres zu dieser Möglichkeit, Expertenwissen zu nutzen, bringt unser Beitrag auf S. 391.

Titelgrafik: G. SCHWESINGER

9
1988

31 Jahrgang
September 1988

ISSN 0026-0347

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

Aufsätze

J. Lunze
Strukturelle Analyse rückgekoppelter Systeme mit Hilfe von PROLOG 386

W. Weller
Ein selbstorganisierender Klassenregler 391

H.-P. Seddig
Aspekte der Selbstdiagnose für den Einsatz in dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen 395

H.-P. Wilfer
Meßgerät zur Bestimmung der Feuchte von mehrphasigen Stoffen 400

A. Hebestreit und *J. Wolf*
Messung der Wasserdampftaupunkttemperatur in Hochdruckgasleitungen 403

N. Gärtner und *H. Gatzmanga*
Untersuchung zur Bestimmung des Übertragungsverhaltens von nichtdispersiven Infrarot-Prozeßanalysatoren 405

R. Liesigk und *G. Lorenz*
Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen im Fotochemischen Kombinat Wolfen (FCK) 408

Kurzbeiträge 413
Tagungen und Kolloquien 419
msr stellt vor 422
Buchbesprechungen 426
Neue Bücher aus der UdSSR 432
Vorschau und Kurzinformationen 3. US.

J. Lunze

Strukturelle Analyse rückgekoppelter Systeme mit Hilfe von PROLOG

0. Einleitung

In der Automatisierungstechnik gibt es eine Vielzahl von Analyse- und Syntheseaufgaben, die aufgrund ihres Charakters nicht durch numerisches, sondern durch symbolisches Rechnen gelöst werden müssen. Dazu gehören strukturelle Untersuchungen von Regelungssystemen, denen nicht die Werte der Systemparameter, sondern nur die Positionen, in denen sie in einem Gleichungssystem auftreten, zugrunde gelegt werden.

Prinzipien, die der Lösung dieser Problemklasse adäquat sind, sind auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz entwickelt worden. Die daraus abgeleiteten Symbolmanipulationssprachen, wie LISP und PROLOG, sind heute weit verfügbar, z. B. auf Personal- und Bürocomputern. Es ist deshalb die Frage zu stellen, welche und inwieweit diese Hilfsmittel Problemstellungen der Automatisierungstechnik einfacher zu lösen gestatten, als es mit Methoden der numerischen Datenverarbeitung möglich ist [5] und [8].

In diesem Beitrag soll an Beispielen aus der „strukturellen Regelungstheorie" demonstriert werden, daß sich Probleme der genannten Art sehr einfach als logisches Programm notieren und mit Hilfe eines PROLOG-Interpreters lösen lassen. Der PROLOG-Interpreter ist ein automatischer Theorembeweiser, der nach dem Resolutionsprinzip arbeitet und in dem wichtige Teilschritte, wie Mustervergleich, Tiefe-Zuerst-Suche und Unifizieren von Variablen, implementiert sind. Der Nutzer braucht deshalb nur zu beschreiben, **was** er über sein Problem weiß (deskriptive Programmierung). Er muß nicht im einzelnen darstellen, **wie** dieses Wissen verarbeitet werden soll. PROLOG liegt der Kernsprache der in Japan in Entwicklung befindlichen 5. Rechnergeneration zugrunde und gewinnt auch dadurch in Zukunft an Bedeutung.

Das im folgenden entwickelte Programm ist lauffähig. Im Sinne der Kürze des Programms und um die grundsätzlichen Überlegungen besser herausstellen zu können, wurde jedoch auf Programmschritte verzichtet, durch die die Verarbeitungszeit und Speicherplatzforderungen durch Einschränkung des Suchraumes wesentlich verkleinert werden können. Für eine ausführliche Einführung in PROLOG wird auf [2] [3] [6] und [11] verwiesen. Hier wird die Notierungsweise von micro-PROLOG verwendet, das auf Mikrorechner zugeschnitten ist.

1. Strukturmodell von Regelungssystemen

In den nachfolgenden Untersuchungen wird angenommen, daß die Regelstrecke durch ein lineares Zustandsraummodell

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t)$$
$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(t) \qquad (1)$$

beschrieben werden kann, wobei $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{u}$ und $\boldsymbol{y}$ die n-, m- bzw. r-dimensionalen Vektoren der Zustandsvariablen, Eingangsgrößen und Regelgrößen darstellen. Als Reglergesetz wird eine statische Ausgangsrückführung

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}\boldsymbol{y} \qquad (2)$$

verwendet.

$\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ und $\boldsymbol{K}$ sind Matrizen entsprechender Dimension mit konstanten Elementen. Für strukturelle Betrachtungen müssen die Elemente jedoch nicht zahlenmäßig bekannt sein. Es genügt zu wissen, welche Elemente der Matrizen für die betrachtete Systemklasse gleich Null sind. Alle anderen Elemente werden unabhängig von ihrem tatsächlichen Wert mit „1" belegt. Auf diese Weise erhält man aus $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ und $\boldsymbol{K}$ die Strukturmatrizen $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$, $[\boldsymbol{C}]$ und $[\boldsymbol{K}]$, mit denen im weiteren gearbeitet wird.

Als **Beispiel** wird die in [1] ausführlich erläuterte Verladebrücke betrachtet. Nach Linearisierung um den Gleichgewichtspunkt $p = 0$, $\dot{p} = 0$ erhält man das Modell

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\begin{pmatrix} e \\ \dot{e} \\ p \\ \dot{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{34} \\ 0 & 0 & a_{43} & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} e \\ \dot{e} \\ p \\ \dot{p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ b_4 \end{pmatrix}\boldsymbol{u}$$

$$y = (c_1 \quad 0 \quad c_3 \quad 0)\begin{pmatrix} e \\ \dot{e} \\ p \\ \dot{p} \end{pmatrix}$$

mit $a_{12} = 1$, $a_{23} = m_L g/m_C$, $a_{34} = 1$, $a_{43} = -(m_L + m_C)\, g/m_C l$, $b_2 = 1/m_C$, $b_4 = -l/m_C$, $c_1 = 1$, $c_3 = l$ (Bild 1). Ohne Kenntnis der exakten Parameter (m_C, m_L, l) können die Strukturmatrizen aufgestellt werden:

$$[\boldsymbol{A}] = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad [\boldsymbol{B}] = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad [\boldsymbol{C}] = (1 \quad 0 \quad 1 \quad 0). \qquad (3)$$

Die Strukturmatrizen beschreiben nicht ein einzelnes, sondern die Klasse aller Systeme (1), bei denen zumindest an den in $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$ und $[\boldsymbol{C}]$ festgelegten Stellen Nullen in $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ auftreten. Die Untersuchungsergebnisse gelten im strukturellen Sinn stets für die jeweils betrachtete Klasse von Systemen und im numerischen Sinn für „fast alle" Systeme (1) aus dieser Klasse. Das heißt, die numerisch nur für ein einzelnes System prüfbaren Eigenschaften sind strukturell begründet [7].

Einer (p, p)-Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}]$ kann ein **Strukturgraph** $G([\boldsymbol{M}])$ zugeordnet werden. Das ist ein gerichteter Graph, dessen Adjazenzmatrix gleich $[\boldsymbol{M}]$ ist. Er besteht aus p Knoten. Für jedes „1"-Element m_{ij} von $[\boldsymbol{M}]$ hat der Graph eine gerichtete Kante vom Knoten j zum Knoten i.

Für die strukturelle Analyse der Regelstrecke (1) bzw. des geregelten Systems (1), (2) werden die Strukturmatrizen betrachtet:

$$[\boldsymbol{Q}_1] = \begin{pmatrix} \boldsymbol{0} & [\boldsymbol{C}] & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & [\boldsymbol{A}] & [\boldsymbol{B}] \\ \boldsymbol{E} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{pmatrix} \text{ und } [\boldsymbol{Q}_2] = \begin{pmatrix} \boldsymbol{0} & [\boldsymbol{C}] & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & [\boldsymbol{A}] & [\boldsymbol{B}] \\ [\boldsymbol{K}] & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{pmatrix} \qquad (4)$$

Prof. Dr. sc. techn. JAN LUNZE (36) studierte von 1970 bis 1974 an der Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau. Seit 1974 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Bereich Regelungssysteme, Dresden. 1980 Promotion A (Entwurf dezentraler Regler), 1983 Promotion B (Robuste Mehrgrößenregelung). 1988 Ernennung zum Akademie-Professor.

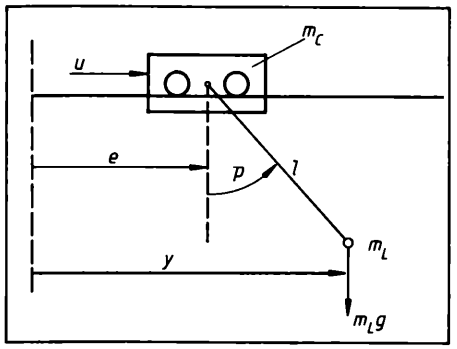


Bild 1. Verladebrücke
Parameter: m_C Masse der Laufkatze; m_L Masse der Last; l Länge des Seiles
Eingangsgröße: u Beschleunigung der Laufkatze; Ausgangsgröße: y Position der Last

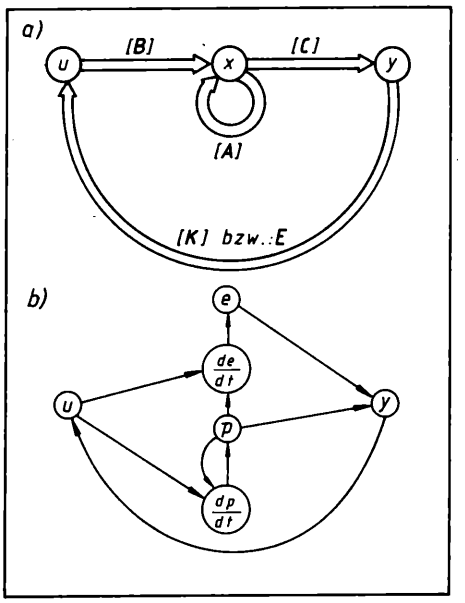


Bild 2. Strukturgraph ▶
a) globale Darstellung des Strukturgraphen $G([Q_1])$ bzw. $G([Q_2])$; b) $G([Q_1]) = G([Q_2])$ für das Beispiel nach Bild 1

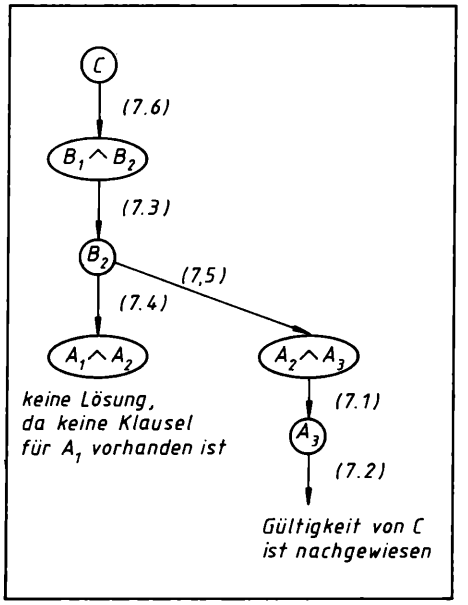


Bild 3. Suchbaum für das Beispiel (7)

mit

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

Für das o. g. Beispiel gilt $G([Q_1]) = G([Q_2])$. Der Strukturgraph ist im Bild 2 dargestellt. Die Knoten sind nach den durch sie repräsentierten Signalen bezeichnet.

2. Prädikatenlogische Grundlagen

Die Programmiersprache PROLOG basiert auf der Prädikatenlogik der ersten Stufe. Im folgenden sind einige Grundbegriffe zusammengestellt.
Ein **Prädikat** $P(X)$ beschreibt die Eigenschaft eines Objektes X (bzw. mehrerer Objekte). Es besteht aus einem Prädikatensymbol P und dem Argument X. Wird für das Argument X die Bezeichnung eines bestimmten Objektes A eingesetzt, so ist $P(A)$ eine Aussage, die den Wahrheitswert „wahr" oder „falsch" haben kann. Zum Beispiel ist die Aussage „u ist ein Eingangsknoten des Strukturgraphen $G([Q_1])$", oder kurz: „Eingangsknoten (u)", eine wahre Aussage (Bild 2b). Ist das Argument X eine Variable, die durch Bezeichnungen aus einem gegebenen Individuenbereich belegt werden kann, so ist $P(X)$ eine Aussageform, die selbst keinen Wahrheitswert hat. Sie geht durch Belegen des Argumentes in eine Aussage über. Beispielsweise ist „Eingangsknoten (X)" eine Aussageform, die für $X = u$ in eine wahre, für $X = e$ jedoch in eine falsche Aussage übergeht.
In PROLOG werden nur logische Ausdrücke der Form

$$B \Leftarrow A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n \qquad (5)$$

zugelassen (sogenannte Horn-Klauseln). Dabei bezeichnen B und $A_1, \dots, A_n$ Prädikate, „$\wedge$" die Konjunktion und „$\Leftarrow$" die Implikation. (5) kann gelesen werden als „Damit B gilt, müssen A_1 und A_2 und ... A_n gelten". B wird als Klauselkopf, die rechte Seite von (5) als Klauselkörper bezeichnet. Für $n = 0$ geht (5) in den unbedingten Ausdruck

$$B \Leftarrow \qquad (6)$$

über.
Ohne im Rahmen dieses Beitrags auf Einzelheiten eingehen zu können, soll im folgenden an einem einfachen Beispiel geschildert werden, wie logische Ausdrücke der Form (5) verarbeitet werden können. Ausgangspunkt sind eine Reihe logischer Aussagen, z. B.

$$\left.\begin{array}{ll} A_2 \Leftarrow & (7.1) \\ A_3 \Leftarrow & (7.2) \\ B_1 \Leftarrow & (7.3) \\ B_2 \Leftarrow A_1 \wedge A_2 & (7.4) \\ B_2 \Leftarrow A_2 \wedge A_3 & (7.5) \\ C \Leftarrow B_1 \wedge B_2 & (7.6) \end{array}\right\} \qquad (7)$$

und eine Zielklausel C. Dabei stellen $A_1, A_2, \dots, C$ der Einfachheit halber Aussagen dar, d. h., es treten keine Variablen in (7) auf. Es ist die Frage zu beantworten, ob die Gültigkeit von C aus (7) gefolgert werden kann.
Der Arbeitsweise des PROLOG-Interpreters liegt folgende Suchstrategie zugrunde. Es wird eine Klausel gesucht, deren Klauselkopf „C" heißt. Wegen (7.6) gilt C, wenn B_1 und B_2 gelten. Nun wird nach einer Klausel für B_1 gesucht. Entsprechend (7.3) ist B_1 wahr und es bleibt nachzuweisen, daß B_2 gilt. Von den zwei für B_2 aufgestellten Klauseln wird, da die „Wissensbasis" (7) von oben nach unten durchsucht wird, zunächst die obere verwendet. Die Gültigkeit von $A_1 \wedge A_2$ kann aber aus (7) nicht gefolgert werden, da keine Klausel für A_1 existiert. Deshalb wird anschließend mit der zweiten Klausel für B_2 gearbeitet und mit (7.1) und (7.2) die Gültigkeit von C bewiesen.
Dieses Vorgehen kann in einem Graphen veranschaulicht werden, dessen Knoten die beim jeweiligen Bearbeitungsstand nachzuweisende Aussage und dessen Kanten die verwendete Klausel aus (7) bezeichnen (Bild 3). Es ist zu erkennen, daß für die Teilaussagen (von links nach rechts) der umgeformten Zielklausel nach Ersetzungen gesucht wird und in der Datenbasis (7) bei Klauseln mit gleichem Klauselkopf zuerst die oberste verwendet wird. Da sich die Verwendung von (7.4) schließlich als unzweckmäßig erwies, weil die Gültigkeit von A_1 nicht nachgewiesen werden kann, wurde später (7.5) verwendet. Dieses Zurückgehen auf einen früher bereits durchlaufenen Knoten des Graphen im Bild 3 bezeichnet man als „Backtracking". Alle dafür notwendigen programmtechnischen Vorkehrungen sind im PROLOG-Interpreter realisiert. Gleiches gilt für die beim Vorhandensein von Variablen in (7) notwendigen Maßnahmen für das Binden gleichnamiger Variabler innerhalb einer Klausel an eine andere Variable bzw. Konstante (Unifizieren). Mit diesen Dingen braucht sich der PROLOG-Nutzer nicht zu befassen. Seine Aufgabe ist es, seine Problembeschreibung als Datenbasis analog (7) zu notieren.

3. micro-PROLOG-Syntax

Logisches Programmieren bedeutet das Aufschreiben von Wissen über die Problemstellung in Form von Horn-Klauseln (5). Die Implikation (5) wird dabei in der Form

$$((B)\,(A_1)\,(A_2)\,\ldots\,(A_n)) \tag{8}$$

geschrieben, wobei sich die Interpretation von (8) aus (5) ergibt. Das Programm besteht aus

- Fakten, die die Existenz von Objekten bzw. das Vorhandensein von Eigenschaften zum Ausdruck bringen und als unbedingte Ausdrücke (6) bzw.
  $((B))$ (9)
  geschrieben werden
- Regeln, die die zwischen den Objekten vorhandenen Beziehungen beschreiben und in der Form (8) dargestellt werden
- Anfragen über Objekte und deren Beziehungen
  $?((C))$. (10)

Variablen sind mit X, $X1$, ... , Y, $Y1$, ... , Z, $Z1$, ... bezeichnet; alle anderen Namen bezeichnen Konstanten bzw. Prädikate.
Für eine ausführliche Programmieranleitung wird auf [2] und [6] verwiesen. Die bisher eingeführten Begriffe und Schreibweisen reichen jedoch aus, um die folgenden Beispiele zu verstehen. Dabei sind die in micro-PROLOG-Syntax aufgeschriebenen Aussageformen i. allg. ohne ausführliche Erläuterungen verständlich.
Der Strukturgraph aus Bild 2 b kann durch folgende Fakten beschrieben werden:

((Eingangsknoten *u*)) (11.1)
((Zustandsknoten *e*)) (11.2)
((Zustandsknoten d*e*-d*t*)) (11.3)
((Zustandsknoten *p*)) (11.4)
((Zustandsknoten d*p*-d*t*)) (11.5)
((Ausgangsknoten *sy*)) (11.6)
((Kante d*e*-d*t e*)) (11.7)
((Kante *p* d*e*-d*t*)) (11.8)
((Kante d*p*-d*t p*)) (11.9)
((Kante *p* d*p*-d*t*)) (11.10)
((Kante *u* d*e*-d*t*)) (11.11)
((Kante *u* d*p*-d*t*)) (11.12)
((Kante *e sy*)) (11.13)
((Kante *p sy*)) (11.14)
((Kante *sy u*)) (11.15)

(11)

Da y eine Variable bezeichnen würde, wurde die Bezeichnung des Ausganges auf *sy* verändert. Einfache Anfragen, die sich auf das Vorhandensein von Kanten beziehen, sind

?((Kante *p* d*e*-d*t*))
?((Kante *X e*))
?((Kante *sy e*))

In den ersten beiden Fällen antwortet der Interpreter mit dem Prompt-Zeichen „&", was soviel heißt wie „ja", da es nach (11.8) eine Kante von *p* nach d*e*/d*t* gibt bzw. bei Bindung der Variablen X und d*e*/d*t* die wahre Aussage (11.7) entsteht. Die letzte Frage wird mit „?" (nein) beantwortet, da aus der Datenbasis (11) nicht gefolgert werden kann, daß eine Kante von *y* nach *e* führt.
Während sich die Prädikate „Eingangsknoten" bzw. „Kante" auf ein bzw. zwei Objekte beziehen, betrifft das später einzuführende Prädikat „Pfad" eine von vornherein nicht bekannte Anzahl von Argumenten (Knoten, die auf dem Pfad liegen). In diesem Falle werden die Argumente in einer Liste der Form $D = (D_1 D_2 D_3 \ldots) = (E \mid F)$ zusammengefaßt. In der Darstellung $(E \mid F)$ entspricht $E = D_1$ dem Listenkopf und $F = (D_2 D_3 \ldots)$ der Restliste. Als Beispiel wird das später noch verwendete Prädikat „verkettete Liste" betrachtet, das zutrifft, wenn die als drittes Argument geschriebene Liste derjenigen Liste entspricht, die durch Aneinanderhängen der ersten beiden Listen entsteht, z. B.

((verkettete Liste (A_1A_2) (B_1B_2) $(A_1A_2B_1B_2)$)).

Die Definition dieses Prädikates kann rekursiv durch

((verkettete-Liste ( ) *XX*))
((verkettete-Liste $(X \mid Y)$ Z $(X \mid X1)$)
((verkettete-Liste Y Z $X1$)) (12)

erfolgen. Die erste Klausel besagt, daß die leere Liste mit einer Liste X verkettet die Liste X ergibt. In der zweiten Klausel ist dargestellt, daß die Verkettung einer Liste $(X \mid Y)$ mit Z auf eine Liste $(X \mid X1)$ führt, wobei die Restliste $X1$ durch Verkettung von Y mit Z zu bilden ist.
(12) gibt zugleich ein Beispiel für **rekursive Programmierung**, die bei PROLOG vorherrschend ist: Die Gültigkeit des Prädikats für eine Liste wird auf die Gültigkeit desselben Prädikats für eine kürzere Liste zurückgeführt. Die Variablen gelten jeweils nur innerhalb einer Klausel (d. h. „lokal").
Der PROLOG-Interpreter verfügt über fest definierte Prädikate (Built-In-Prädikate), von denen hier fünf verwendet werden:

(NOT *A*)	(Negation) ist erfüllt, wenn die Aussage *A* nicht gilt.
(SUM I_1 I_2 I_3)	(Summenbildung) ist erfüllt, wenn $I_1 + I_2 = I_3$ gilt.
(ISALL X Y Z)	ist erfüllt, wenn X die Liste aller Lösungen Y der Zielklausel Z darstellt.
(PP X)	(Ausdruck) ist erfüllt, wenn die Liste X ausgedruckt ist, wobei für Variable die an diese gebundenen Konstanten ausgegeben werden.
(EQ X Y)	(Gleichheit) ist erfüllt, wenn die Argumente X und Y identisch sind.

4. Definition graphentheoretischer Begriffe in PROLOG

Für die Strukturuntersuchungen müssen einige graphentheoretische Begriffe eingeführt und als Prädikate formuliert werden. Dies soll hier parallel in verbaler Form und in der durch (8) vorgegebenen Schreibweise getan werden.
Ein **Pfad** innerhalb eines Graphen G ist eine Folge $(k_1, k_2, \ldots, k_q)$ von Knoten, die jeden Knoten von G höchstens einmal enthält und bei der zu zwei aufeinanderfolgenden Knoten k_i, k_{i+1} eine gerichtete Kante von k_i zu k_{i+1} in G existiert.
Zur Definition des Prädikates „Pfad" für eine Liste $(k_1, k_2, \ldots, k_q)$ von Knoten ist es notwendig, zunächst das Prädikat „Element der Liste" aufzuschreiben. X ist Element einer Liste $(Y \mid Z)$, wenn es das erste Element der Liste ist $(X = Y)$ oder wenn es zur Restliste Z gehört:

((Element-der-Liste X $(X \mid Z)$))
((Element-der-Liste X $(Y \mid Z)$))
((Element-der-Liste X Z)). (13)

„Pfad" wird rekursiv definiert, indem die Existenz eines Pfades von X nach Y auf die Existenz einer Kante von X nach Z und eines Pfades von Z nach Y zurückgeführt wird, wobei der Pfad von Z nach Y nicht über X führen darf. Die Rekursion bricht ab, wenn für den noch zu suchenden „Restpfad" eine Kante existiert (Bild 4)

```
((Pfad X Y X1 X1)
   (Kante X Y))
((Pfad X Y X2 X1)
   (Kante X Z)
   (NOT EQ Z X)
   (NOT Element-der-Liste Z X2)
   (Pfad Z Y (Z | X2) X1)).
```
(14)

Beim Aufruf ? ((Pfad *u sy* ( ) *X*1)) wird durch wiederholte Anwendung der zweiten Klausel die im Klauselkopf mit *X*2 bezeichnete Liste, ausgehend von der leeren Liste ( ), schrittweise durch d*e*/d*t* und *e* aufgefüllt und schließlich durch die erste Klausel an *X*1 gebunden. Die Frage wird mit *X*1 = (*e* d*e*-d*t*) erfüllt, d. h., es gibt einen Pfad von *u* nach *sy* und dieser führt über die Knoten d*e*/d*t* und *e* (vgl. Reihenfolge der Notierungen in (11)).

Eine **Schleife** ist ein Pfad $(k_1, k_2, \ldots, k_q)$ mit $k_1 = k_q$

```
((Schleife (X | Y))
   (Pfad X X ( ) Y)).                    (15)
```

Die Frage ?((Schleife (*p* | *Y*))) ist beantwortet, nachdem mit Hilfe des Prädikates „Pfad" ein Pfad von *p* nach *p* über *Y* = (d*p*/d*t*) gebildet wurde. Folglich ist (15) mit (*p* | *Y*) = (*p* d*p*/d*t*) erfüllt.

Eine **Schleifenfamilie** ist eine Menge von Schleifen, die keine gemeinsamen Knoten enthalten. Sie wird durch eine Liste dargestellt, deren Elemente selbst Listen sind und die das Prädikat „Schleife" erfüllen. Beispiele sind im Bild 5 angegeben.

Die folgende Definition des Prädikates „Schleifenfamilie" geht davon aus, daß jede Schleife *X* zugleich eine Schleifenfamilie (*X*) darstellt und daß weitere Schleifenfamilien dadurch erhalten werden, daß zu einer Schleifenfamilie *Y* eine Schleife *X* hinzugenommen wird, die jedoch die bereits verwendeten, in der Liste *X*1 zusammengestellten Knoten nicht berühren darf:

```
((Schleifenfamilie (X) X1)
   (Schleife X)
   (NOT haben-gemeinsamen-Knoten X X1))
((Schleifenfamilie (X | Y) X1)
   (Schleife X)
   (NOT haben-gemeinsamen-Knoten X X1)
   (verkettete-Liste X X1 X2)
   (Schleifenfamilie Z X2)).             (16)
```

Das Prädikat „haben-gemeinsamen-Knoten" ist erfüllt, wenn die beiden vergleichenden Schleifen *X* und *Y* mindestens einen gemeinsamen Knoten *Z* haben:

```
((haben-gemeinsamen-Knoten X Y)
   (Element-der-Liste Z X)
   (Element-der-Liste Z Y)).             (17)
```

Durch den Aufruf (Schleifenfamilie *X* ( )), z. B. innerhalb einer ISALL-Klausel, können die im Bild 5 gezeigten Beispiele erzeugt werden.

5. Strukturelle Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit

Definition 1 [10]. Die Klasse der Systeme (1), die durch die Strukturmatrix $[\boldsymbol{Q}_1]$ beschrieben ist, ist strukturell steuerbar (strukturell beobachtbar), wenn es Matrizen ***A***, ***B***, ***C*** mit der in $[\boldsymbol{Q}_1]$ beschriebenen Struktur gibt, so daß das Paar (***A***, ***B***) steuerbar (das Paar (***A***, ***C***) beobachtbar) ist.

Die Analyse eines Systems auf strukturelle Steuerbarkeit wird zweckmäßigerweise am Strukturgraphen $G([\boldsymbol{Q}_1])$ vorgenommen. Das System heißt **eingangsverbunden,** wenn jeder Zustandsknoten von mindestens einem Eingangsknoten auf einem Pfad in $G([\boldsymbol{Q}_1])$ erreicht werden kann. Das System heißt **ausgangsverbunden,** wenn von jedem Zustandsknoten ein Pfad zu mindestens einem Ausgangsknoten führt.

Zur Definition entsprechender Prädikate muß die Menge aller Zustandsknoten gebildet werden

```
((Menge-aller Zustandsknoten X)
   (ISALL X Y (Zustandsknoten Y))).      (18)
```

Die Prädikate „eingangsverbunden" und „ausgangsverbunden" können dann rekursiv definiert und auf die Menge aller Zustandsknoten angewendet werden

```
((eingangsverbunden ( )))
((eingangsverbunden (X | Y))
   (Eingangsknoten Z)
   (Pfad Z X ( ) X1)
   (eingangsverbunden Y))                (19)
```

Bild 4. Definition des Pfades nach (14)

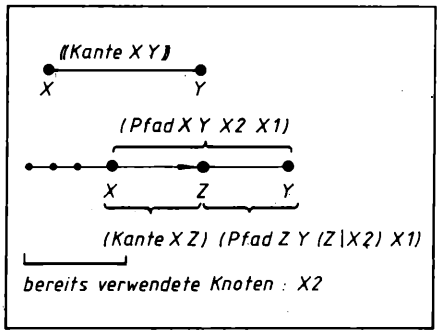
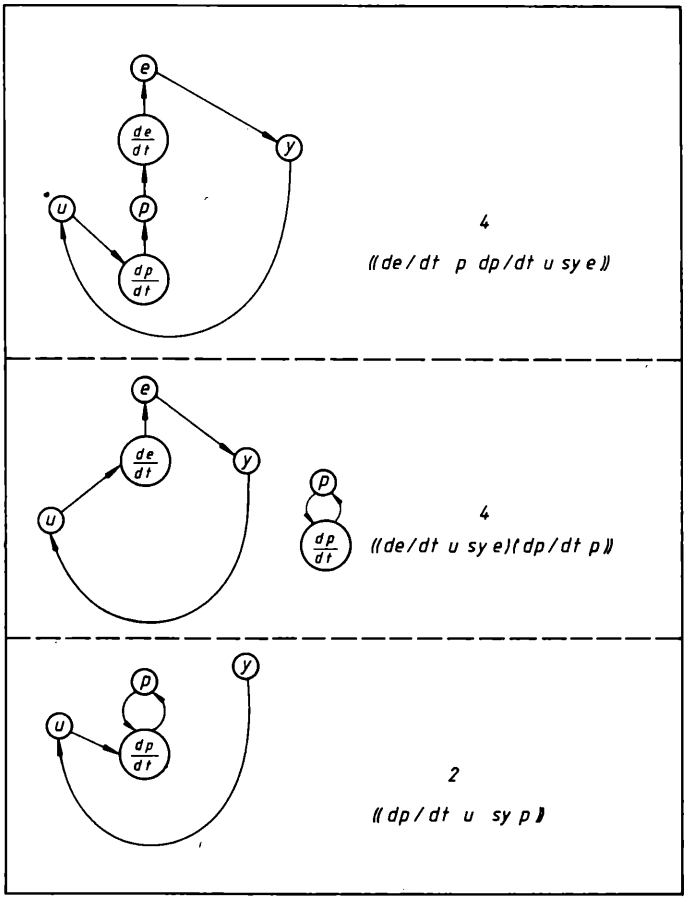


Bild 5. Beispiele für Schleifenfamilien des Graphen aus Bild 2b und deren Weite




```
((ausgangsverbunden ( )))
((ausgangsverbunden (X | Y))
   (Ausgangsknoten Z)
   (Pfad X Z ( ) X1)
   (ausgangsverbunden Y))                (20)
```

Die in *X*1 zusammengestellten Zwischenknoten der gebildeten Pfade sind für die weitere Arbeit i. allg. uninteressant.

Außer diesen Bezeichnungen benötigt man noch den Begriff der **Weite einer Schleifenfamilie,** unter der man die Zahl der von allen Schleifen der Schleifenfamilie berührten Zustandsknoten versteht (Bild 5)

```
((Weite-der-Schleifenfamilie (X) Z)
   (Zahl-der-Zustandsknoten X Z))
((Weite-der-Schleifenfamilie (X | Y) Z)
   (Zahl-der-Zustandsknoten X Z1)
   (Weite-der-Schleifenfamilie Y Z2)
   (SUM Z1 Z2 Z)).                       (21)
```

Während die erste Klausel eine aus nur einer Schleife bestehende Schleifenfamilie betrifft, wird in der zweiten Klausel die Zahl der Zustandsknoten der Schleife *X* zur Weite der verbleibenden Schleifenfamilie *Y* addiert, um die Weite der gesamten Schleifenfamilie (*X* | *Y*) zu erhalten. Durch

```
((Zahl-der-Zustandsknoten ( ) 0))
```

```
((Zahl-der-Zustandsknoten (X | Y) Z)
    (Zustandsknoten X)
    (Zahl-der-Zustandsknoten Y Z1)
    (SUM 1 Z1 Z))
((Zahl-der-Zustandsknoten (X | Y) Z)
    (Zahl-der-Zustandsknoten Y Z))                    (22)
```

werden die in einer Liste enthaltenen Zustandsknoten gezählt.

Satz 1 [9]. Die durch $[\boldsymbol{Q}_1]$ beschriebene Klasse von Systemen (1) ist genau dann strukturell steuerbar (beobachtbar), wenn der Graph $G([\boldsymbol{Q}_1])$

1. eingangsverbunden (ausgangsverbunden) ist
2. eine Schleifenfamilie der Weite n enthält.

Unter Verwendung der bereitgestellten Prädikate kann dieser Satz folgendermaßen aufgeschrieben werden:

```
((strukturell-steuerbar)
    (Menge-der-Zustandsknoten X)
    (eingangsverbunden X)
    (Zahl-der-Zustandsknoten X Y)
    (Schleifenfamilie Z ( ))
    (Weite-der-Schleifenfamilie Z Y)).                (23)
```

In der Definition des Prädikats „strukturell beobachtbar" muß in (23) lediglich „eingangsverbunden" durch „ausgangsverbunden" ersetzt werden. Das PROLOG-Programm zur Überprüfung der strukturellen Steuerbarkeit eines Systems besteht also aus drei Teilen, von denen die ersten beiden der besseren Handhabbarkeit wegen in Modulen zusammengefaßt werden können:

— Beschreibung der betrachteten Systemklasse analog zu (11)
— Beschreibung der strukturellen Steuerbarkeit durch die Beziehungen (12) bis (23), die nach Satz 1 äquivalent zur Definition 1 sind,
— Anfrage:

```
?((strukturell-steuerbar)).                           (24)
```

Für das Beispiel (11) wird die Anfrage mit „ja" beantwortet (Bilder 2b und 5).

6. Strukturell feste Modi

Die Frage, ob das dynamische Verhalten des geschlossenen Kreises (1), (2) durch geeignete Wahl der Reglerparameter $\boldsymbol{K}$ weitestgehend beliebig gestaltet werden kann, hängt von der Existenz fester Modi ab. Der Begriff „feste Modi" wurde als Verallgemeinerung der Klasse nicht steuerbarer oder nicht beobachtbarer Eigenbewegungen eingeführt, um Strukturbeschränkungen (auf Null fixierte Reglerparameter) in Mehrgrößenreglern berücksichtigen zu können [4].

Definition 2 [10]. Die durch $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$, $[\boldsymbol{C}]$ beschriebene Klasse von Systemen hat unter der durch $[\boldsymbol{K}]$ vorgegebenen Strukturbeschränkung für die Regelung strukturell feste Modi, wenn jedes System (1) bez. der Regelung (2) feste Modi hat.

Satz 2 [10]. Das durch $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$, $[\boldsymbol{C}]$ beschriebene System hat unter der durch $[\boldsymbol{K}]$ vorgegebenen Strukturbeschränkung für die Regelung strukturell feste Modi genau dann, wenn wenigstens eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt ist:

(a) Wenigstens 1 Zustandsknoten von $G([\boldsymbol{Q}_2])$ ist nicht eingangsverbunden oder nicht ausgangsverbunden.
(b) Es gibt keine Schleifenfamilie der Weite n in $G([\boldsymbol{Q}_2])$.

Ein Vergleich zu Satz 1 zeigt, daß gilt:

```
((keine-festen-Modi)
    (strukturell-steuerbar)
    (strukturell-beobachtbar)).                       (25)
```

Jedoch sind (12) bis (25) auf $G([\boldsymbol{Q}_2])$ anstelle von $G([\boldsymbol{Q}_1])$ anzuwenden. Dafür ist die Menge der durch $\boldsymbol{E}$ eingeführten Kanten zwischen allen y_i und allen u_j auf die durch $[\boldsymbol{K}]$ zugelassenen Kanten zu reduzieren. Für das Eingrößensystem nach Bild 1 gilt $[\boldsymbol{Q}_1] = [\boldsymbol{Q}_2]$ und die Menge der festen Modi ist gleich der der nicht steuerbaren oder nicht beobachtbaren Modi.

7. Erweiterungsmöglichkeiten

Ziel dieses Beitrages ist es, die Zweckmäßigkeit der Anwendung von PROLOG für strukturelle Untersuchungen in der Automatisierungstechnik aufzuzeigen. Es ist offensichtlich, daß die Problemstellung bzw. die Definitionen der verwendeten graphentheoretischen Begriffe nur geringfügig transformiert werden müssen, um für den PROLOG-Interpreter verarbeitbar zu sein. Die große Flexibilität eines Programms wurde in den Abschn. 5. und 6. als ein weiterer Vorzug von PROLOG erkennbar. Um unterschiedliche Probleme behandeln zu können, müssen lediglich verschiedene Begriffsbestimmungen in PROLOG aufgeschrieben werden. Der Interpreter sucht sich selbständig die dafür benötigten weiteren Definitionen aus dem Programm heraus. So bedarf es nur weniger Zeilen, um das hier angegebene Programm für Untersuchungen der Stabilisierbarkeit durch Ausgangsrückführung oder der Stör-Entkopplung bzw. der Zerlegung eines Systems in „strukturell vollständige" Teile zu erweitern [9] und [10]. Ebenso einfach kann die Systembeschreibung verändert werden, um die Struktur des behandelten Prozesses gegebenen strukturellen Anforderungen anzupassen.

In ähnlicher Weise wie bei den beschriebenen strukturellen Untersuchungen kann PROLOG für die symbolische Berechnung der Koeffizienten des charakteristischen Polynoms des geschlossenen Kreises in Abhängigkeit von den System- und Reglerparametern oder für die Berechnung der Übertragungsfunktion des Gesamtsystems aus denen der Teilsysteme eingesetzt werden. In der graphentheoretischen Darstellung dieser Probleme sind die Kanten durch die Parametersymbole (nicht deren numerische Werte!) gewichtet. Das Ergebnis sind Formeln, die die Abhängigkeit des Ergebnisses von den einzelnen Elementen in algebraischer Form darstellen.

Die Rechenzeit für die angeführten Programme lag bei allen behandelten Beispielen auf einem 8-bit-Rechner im Bereich weniger Sekunden. Da sich Rechengeschwindigkeit und verfügbarer Speicherplatz bei zukünftigen Rechnern wesentlich verbessern werden, wurde auf Vergleiche dieser Art mit numerisch ausgefeilten Graphenprogrammen verzichtet und auf die Erläuterung der sich aus der logischen Programmierung ergebenden Vorzüge bei der Programmerarbeitung, -testung und -anwendung besonderer Wert gelegt.

Literatur

[1] Ackermann, J.: Abtastregelungen. Berlin: Springer-Verlag 1983.
[2] Clark, K. L.; McCabe, F. G.: micro-PROLOG:Programming in Logic. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1984.
[3] Clocksin, W. F.; Mellish, C. S.: Programming in Prolog. Berlin: Springer-Verlag 1981.
[4] Davison, E. J.; Gesing, W.; Wang, S. H.: An algorithm for obtaining the minimal realization of a linear timeinvariant system and determining if a system is stabilizable-detectable. Conf. Decision and Control, New Orleans 1977, pp. 777—782.
[5] Fuchs, H.: Zum Verhältnis von künstlicher Intelligenz und Automatisierung. msr, Berlin 30 (1987) 10, S. 434—436.
[6] Holland, G.: Problemlösen mit micro-PROLOG. Stuttgart: BSB B. G. Teubner 1981.
[7] Lin, C. T.: Structural controllability. IEEE Trans. AC-19 (1974) 2, pp. 201—208.
[8] Lunze, J.: Wissensbasierte Systeme. Teil 1: Einführung und Überblick. msr, Berlin 30 (1987) 10, S. 437—443.
[9] Reinschke, K.: A graph-theoretic criterion for structural completeness of linear systems. Syst. Anal. Model. Simul. 1 (1984) 5, pp. 373—379.
[10] Reinschke, K.: Multivariable Control. A Graph-Theoretic Approach. Berlin: Akademie-Verlag 1988.
[11] Petersohn, U.; Pitschke, J.; Rohner, I.: Nutzung von PROLOG zur Implementierung von Expertensystemen. msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 540—543.

msr 8776

W. Weller

Ein selbstorganisierender Klassenregler

0. Einführung

Die Automatisierung von Prozessen erfolgt typischerweise auf dem Weg der Streckenmodellbildung mit anschließendem Reglerentwurf. Einen weiteren Zugang bietet die Verwendung universeller Regler, deren Funktion auf der Basis des Erfahrungswissens versierter Prozeßbediener spezifiziert wird. Solches Wissen kann häufig nicht in quantifizierter Form angegeben werden. Es läßt sich aber i. allg. leicht in Regeln der Art:

WENN Fakt A_1 UND Fakt A_2 UND ... DANN Fakt B

kleiden.
Diese Fakten A_i geben hierbei eine verbal formulierte Beschreibung globaler Prozeßzustände, während sich der Fakt *B* auf die auszuführende Reaktion bezieht.
Im Zuge der sehr in Mode kommenden Expertensysteme wurde vorgeschlagen, das in Regelform angebbare Steuerungswissen von Prozeßbedienern zum Aufbau einer Wissensbasis zu nutzen und durch einen Inferenzmechanismus auszuwerten [1] bis [3]. Dabei werden die eingegebenen Fakten als linguistische Variable behandelt, die nicht auf einen Punkt, sondern einen Bereich des Zustandsraums zutreffen. Die Auswertung solchen Regelwissens führt auf den Typ des sog. Klassenreglers. Das Steuerungsgesetz wird dann im einfachsten Fall durch eine Entscheidungstabelle beschrieben.
Im folgenden soll gezeigt werden, daß das Problem der direkten Automatisierung von Prozeßsteuerungen auf der Basis von Expertenwissen mit voraussichtlich geringerem Aufwand auch durch Selbstorganisation unter Einbeziehung von Lernmethoden gelöst werden kann.

1. Lösungsprinzip

1.1. Handlungseigenschaften von Prozeßbedienern

Bevor man an den Aufbau eines selbstorganisierenden Klassenreglers gehen kann, ist zunächst das Steuerverhalten von Prozeßbedienern zu analysieren. Dabei zeigen sich folgende Merkmale:

- Der Prozeßzustand wird i. allg. unvollständig ausgewertet, wobei außer der Regelgröße je nach Vermögen nur noch die 1. und ggf. 2. Ableitung berücksichtigt werden.
- Neben dem Prozeßzustand werden — besonders bei direktem Prozeßkontakt — weitere zugängliche Umgebungsinformationen in die Handlungsentscheidung einbezogen.
- Die Beobachtungs-Reaktionszuordnung erfolgt weitgehend klassifikatorisch, d. h., es wird keine Punkt-zu-Punkt, sondern eine Bereich-zu-Punkt-Abbildung getroffen.
- Das durch den Prozeßbediener realisierte Steuerungsgesetz ist i. allg. nichtlinear.
- Die Handlungsweise ist nicht vollständig determiniert, sondern unterliegt interindividuellen und intraindividuellen Schwankungen.

1.2. Gesamtsystem

Das relationale Wissen von Prozeßbedienern soll hier nicht durch Befragung, sondern durch eine On-line-Erfassung zugeführt werden, indem die Prozeßzustands- und Umgebungsinformationen fortlaufend durch Messung erfaßt und zusammen mit den Reaktionen eingegeben werden. Diese Signale bilden eine Lernfolge

$$L(j) = \{(x(j), y(i))\}\,, \tag{1}$$

deren Elemente ein *n*-komponentiger Beobachtungsvektor

$$x(j) = [x_1(j)\ x_2(j) \ldots x_n(j)]^T \tag{2a}$$

mit

$$x_i(j) \in [x_{i\,min}, x_{i\,max}],\ \forall i \in I^{(n)} \tag{2b}$$

und die vom Bediener ausgegebenen Stellgrößenwerte

$$y(j) \in [y_{min}, y_{max}] \tag{3}$$

sind. Diese Lernfolge enthält somit Realisierungen des Steuerverhaltens des Prozeßbedieners. Die Lernfolge wird dem selbstorganisierenden Klassenregler ohne störende Belastung des Prozeßbedieners gleichsam im Bypass zugeführt (Bild 1). Dabei ist zu gewährleisten, daß eine hinreichende Prozeßerregung stattfindet und das gesamte Variationsgebiet der Zustandsvariablen überdeckt wird. Der selbstorganisierende Klassenregler soll im Verlauf des Trainingsbetriebs ein Verhalten entwickeln, das dem ausgeglichenen Steuerverhalten des Prozeßbedieners entspricht. Bei Erreichen dieses Lernziels ist dann ein fehlerfreier Kann-Betrieb möglich. Die Umschaltung zwischen diesen beiden Betriebsarten wird im Bild 1 durch den Schalter S symbolisiert.

1.3. Logische Struktur des selbstorganisierenden Klassenreglers

Für den selbstorganisierenden Regler, der die im Abschn. 1.1. aufgeführten Merkmale weitgehend erfüllt, wird die im Bild 2 dargestellte Struktur in Vorschlag gebracht. Die Anordnung enthält einen Zustandsbildner ZUB, Hyperkubenklassifikator HYK, Situationszuweiser SAZ, assoziativen Speicher MEM sowie Adaptionsalgorithmus ADA.
Der Zustandsbildner erzeugt aus der gemessenen Regelgröße und den sonstigen ausgewerteten Umgebungssignalen den aktuellen Beobachtungsvektor $x(j)$. Dieser wird im Hyperkubenklassifikator komponentenweise analysiert, wobei ein Vektor $r(j)$ zugewiesen wird. Dieser repräsentiert eine Steuersituation $s(j) \in S$, deren Bestimmung im Block SAZ vorgenommen wird. Dementsprechend wird im

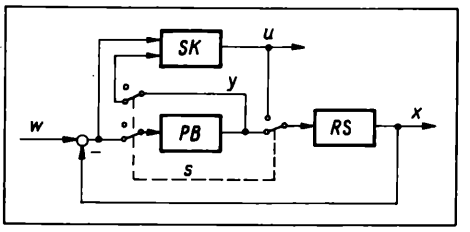
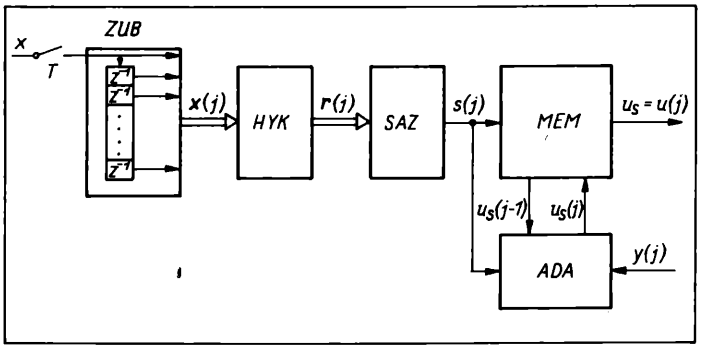


Bild 1. On-line-Training eines selbstorganisierenden Klassenreglers
PB Prozeßbediener; SK selbstorganisierender Klassenregler; RS Regelstrecke

Bild 2. Logische Struktur des vorgeschlagenen selbstorganisierenden Klassenreglers
ZUB Zustandsbildner; HYK Hyperkubenklassifikator; SAZ Situationszuweiser; MEM assoziativer Speicher; ADA Adaptionsalgorithmus



Prof. Dr. sc. techn. WOLFGANG WELLER (53) studierte von 1953 bis 1959 Regelungstechnik an der TH Dresden. Anschließend im Institut für Regelungstechnik Berlin (IfR) tätig. 1966 Promotion A. Von 1966 bis 1967 Dozent und Berater am Higher Institut of Electronics in Menouf/Arabische Republik Ägypten. Danach wieder im IfR tätig. Gleichzeitig Lehrbeauftragter an der WPU Rostock. 1970 Berufung zum o. Professor für Technische Kybernetik an die Sektion Elektronik der Humboldt-Universität zu Berlin. 1973 Promotion B.

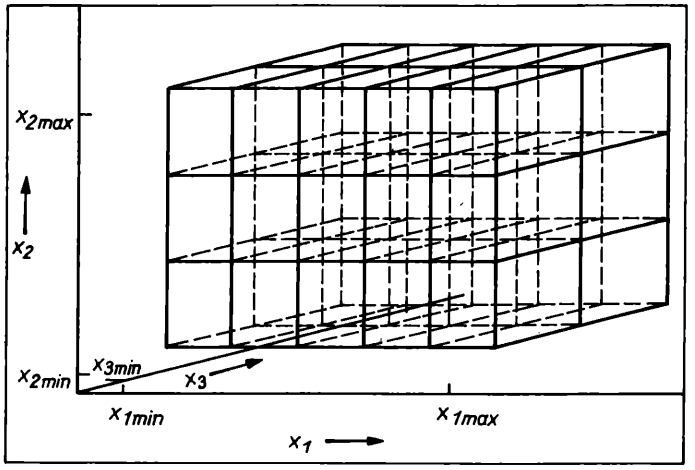


Bild 3. Unterteilung des Zustandsraums in Hyperkuben (Beispiel mit m = 3)

Speicher MEM eine seinem Lernzustand gemäße Reaktion $u_s \in U$ aufgerufen und als $u(j)$ ausgegeben. Der Adaptionsalgorithmus ADA wertet das durch Auswertung der Lernprobe erhaltene Wissensinkrement aus und korrigiert dabei partiell den Speicherinhalt.

Die hier vorgeschlagene Lösung eines selbstorganisierenden Klassenreglers orientiert auf eine Implementierung durch eine (Mikro-) Rechnereinrichtung, wobei besonderer Wert auf eine aufwandarme Lösung gelegt werden soll.

Das System ist lernfähig, da es

- laufend aufgenommene Informationen zur zielgerichteten Verbesserung seines Verhaltens ausnutzt
- auch auf rasch wechselnde Situationen sofort gemäß seinem aktuellen Lernzustand reagiert.

Im weiteren wird eine algorithmische Beschreibung der Hauptkomponenten des selbstorganisierenden Klassenreglers gegeben.

2. Situationsbestimmung

Für die Realisierungen des geforderten klassifikatorischen Verhaltens kommt der Einsatz üblicher Klassifikatortypen — beispielsweise des Abstandsklassifikators — nicht in Betracht, da die dort bestehenden Forderungen bezüglich Kompaktheit und Zusammenhang der Klassengebiete sowie lineare Separierbarkeit im vorliegenden Fall nicht grundsätzlich erfüllt sind. Statt dessen wird die Verwendung eines Hyperkubenklassifikators vorgesehen, der keinerlei Anforderungen an die Struktur des Merkmalsraumes stellt und auch mit geringem Speicherbedarf implementierbar ist [4].

2.1. Hyperkubenklassifikation

Der Hyperkubenklassifikator bezieht seinen Namen aus der vorgenommenen Rasterung des Zustandsraums $\boldsymbol{R}^{(m)}$. Dadurch wird dieser in Teilräume untergliedert, die für $m > 3$ die Form von Hyperkuben haben (Bild 3). Jeder dieser Hyperkuben repräsentiert eine (Steuer-) Situation $s \in S$. Diesen Situationen kann durch eine völlig wahlfreie Abbildung jeweils eine Klasse $k \in K$ zugewiesen werden. Jede Klasse wird im vorliegenden Anwendungsfall mit einem Stellgrößenwert $u_s \in U$ belegt.

Die Unterteilung des Raums $\boldsymbol{R}^{(m)}$ wird im mutmaßlichen Variationsbereich der Zustandsvariablen

$$x_i \in [x_{i\,min}, x_{i\,max}], \forall i \in I^{(m)} \tag{4}$$

vorgenommen, indem zweckmäßigerweise äquidistante Schwellenwerte t_{il} festgelegt werden. Dabei gilt

$$t_{il} = t_{i0} + l\,\Delta t_i\,, \qquad \forall l \in L^{(n_i)}\,, \qquad \forall i \in I^{(m)} \tag{5a}$$

mit

$$t_{i0} = x_{i\,min} \tag{5b}$$

und

$$\Delta t_i = \frac{x_{i\,max} - x_{i\,min}}{n_i}\,. \tag{5c}$$

Da die Schwellwertabstände Δt_i für jede Koordinate x_i bedarfsweise unterschiedlich festgelegt werden können, haben die Teilräume — genauer ausgedrückt — die Form von Parallelepipeden. Die Analyse der jeweils aufgenommenen Beobachtung $x(j) \in M_x$ kann auf rein algorithmischem Weg vorgenommen werden, indem durch sequentielle Tests jeweils diejenigen Subintervalle bestimmt werden, für die gilt

$$r_i(j) = l \mid t_{i(l-1)} \leqq x_i(j) < t_{il},\ \forall i \in I^{(m)}\,. \tag{6}$$

Im Ergebnis des Tests wird die Belegung des Vektors

$$r(j) = [r_1(j)\, r_2(j) \ldots r_m(j)]^T\,, \qquad r(j) \in M_r \tag{7}$$

bestimmt.

Dieser zeigt auf den Teilraum, auf den die Abbildung $M_x \rightarrow M_r$ erfolgt ist. Das erhaltene Klassifikationsmodell hat demnach die Form von Relationen eines Vektors und Skalars entsprechend

$$v_r = (r, k)\,, \qquad \forall r \in M_r\,, \qquad k \in K\,. \tag{8}$$

Seine Abspeicherung läßt sich beispielsweise nach dem Prinzip der verketteten Listen organisieren [5].

2.2. Situationskodierung

Die mit (8) angegebene Beschreibung des Klassifikationsmodells kann noch vereinfacht werden, indem der jeweils bestimmte Hyperkubus durch eine skalare Größe bezeichnet wird. Dazu wird vorgeschlagen, diese Teilräume als (Steuer-)Situationen $s \in S$ aufzufassen, die nach einer festgelegten Systematik unter Verwendung natürlicher Zahlen kodiert werden. Eine mögliche Kodiervorschrift zur Realisierung der Abbildung $M_r \rightarrow S$ ist

$$s(j) = r_1(j) + (r_2(j) - 1)\, n_1 + (r_3(j) - 1)\, n_1 n_2 + \ldots \\ \ldots + (r_m(j) - 1)\, n_1 n_2 \ldots n_{m-1}\,. \tag{9}$$

Das Klassifikationsmodell lautet nunmehr

$$v_s = (s, k)\,, \qquad \forall s \in S\,, \qquad k \in K\,. \tag{10}$$

Es erfordert gegenüber dem Modell von (8) einen wesentlich geringeren Speicherplatz.

2.3. Reaktionszuordnung

Jeder Klasse $k \in K$ ist nun noch entsprechend dem hier betrachteten Einsatzfall ein Stellgrößenwert $u = u_s \in U$ zuzuweisen. Dies entspricht einer weiteren Abbildung $K \rightarrow U$. Die a priori unbekannte Menge U wird erst im Verlauf des Lernprozesses spezifiziert (s. Abschn. 3.). Sie ist daher abhängig vom aktuellen Lernzustand. Es gilt also $U = U(j)$.

Die beiden Abbildungen $S \rightarrow K$ und $K \rightarrow U(j)$ können nun vereinigt und durch die Transformation $S \rightarrow U(j)$ ersetzt werden. Diese realisiert der assoziative Speicher MEM in Form einer Gesamtheit von Relationen

$$v_u = (s, u_s)\,, \qquad \forall s \in S\,, \qquad u_s \in U(j)\,. \tag{11}$$

Diese Darstellung ist besonders rechnerfreundlich, da s als fortlaufende Adresse interpretiert werden kann, unter der $u_s = \langle s \rangle$ als Inhalt gespeichert wird.

3. Speicheradaption

Nun soll die Entwicklung der Transformationsvorschrift (11) im Verlauf des Trainingsprozesses betrachtet werden. Diese kann im einfachsten Fall durch sog. Einlernen schrittweise aufgebaut werden. Dabei wird nach der Analyse des jeweiligen Lernelements $(x(j), y(j))$; $x(j) \in M_x$, $y(j) \in Y$ in bezug auf die vorliegende Situation $s(j) \in S$ die vom Bediener ausgegebene Reaktion gemäß $u_s = y(j)$ abgespeichert. Jede weitere Beobachtung $x(j + h) \in M_s$, $s(j + h) \in S \mid s(j + h) = s(j)$ führt dann zu einem Überschreiben des gespeicherten Stellgrößenwerts $u_s = y(j)$ durch den neuen Wert $y(j + h)$.

Diese einschrittige Zuordnung gewährleistet jedoch nicht den geforderten Ausgleich intraindividueller Schwankungen des Prozeßbedieners. Daher soll für die Entwicklung des Modells (11) eine mehrschrittige Adaption vorgesehen werden.
Derartige Adaptionsalgorithmen haben im vorliegenden Fall die Form

$$u_l(j) = \begin{cases} f(u_l(j-1), y(j)) & \text{für } l = s \in S \mid x(j) \in M_s \\ u_l(j-1) & \text{sonst.} \end{cases} \tag{12}$$

Für den Anlauf des Adaptionsprozesses müssen noch die Startwerte angegeben werden. Stehen keine A-priori-Informationen zur Verfügung, so wählt man zweckmäßig

$$u_l(0) = 0\,, \quad \forall l \in S\,. \tag{13}$$

Nachfolgend werden einige Vorschläge zur Spezifikation des Adaptionsalgorithmus (12) unterbreitet.

3.1. Adaptionsalgorithmus 1

Es ist naheliegend, der Adaption von u_s, $\forall s \in S$ den Erwartungswert $E\langle y \mid s\rangle$ als Kriterium zugrunde zu legen. Dazu läßt sich aus der Formel für den Mittelwert

$$u_s(j) = \frac{1}{p_s(j)} \sum_{i=0}^{p_s(j)-1} y_s(j-i) \mid y(j-k) = y_s(j-i)\,, \qquad x(j) \in M_s\,, \quad s \in S \tag{14}$$

durch rekursive Entwicklung der Adaptionsalgorithmus AA1

$$u_l(j) = u_l(j-1) + \begin{cases} (y(j) - u_l(j-1))/p_l(j) & \text{für } l = s \in S \mid x(j) \in M_s\,, \\ & y(j) = y_s(j) \\ 0 \quad \text{sonst} \end{cases} \tag{15}$$

gewinnen mit

$$p_l(j) = p_l(j-1) + \begin{cases} 1 & \text{für } l = s \in S \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \tag{16}$$

Bemerkenswert an diesem Algorithmus ist, daß von Lernbeginn an alle einer Situation $s \in S$ zugehörigen Reaktionen $y(j) = y_s$ in die Mittelwertbildung eingehen. Dieser Adaptionsalgorithmus verfügt folglich über ein sich mit zunehmender Lerndauer vergrößerndes Gedächtnis. Später aufgenommene Lernelemente sind somit von immer geringerer Auswirkung.

3.2. Adaptionsalgorithmus 2

Soll eine konstante Empfindlichkeit während der gesamten Lerndauer erhalten bleiben, so muß die Anzahl der zur Mittelwertbildung herangezogenen Elemente gemäß $q < \infty$ begrenzt werden. Ein solcher Adaptionsalgorithmus verfügt dementsprechend über ein endliches Gedächtnis. Die Formel der begrenzten Mittelwertbildung

$$u_s(j) = \frac{1}{q} \sum_{i=0}^{q-1} y_s(j-i) \mid y(j-k) = y_s(j-i)\,, \qquad x(j) \in M_s\,, \qquad s \in S \tag{17}$$

führt bei rekursiver Entwicklung auf den mit AA2 bezeichneten Adaptionsalgorithmus

$$u_l(j) = u_l(j-1) + \begin{cases} (y(j) - y_s(j-q))/q & \text{für } l = s \in S \mid x(j)\,,\ x(j-k) \in M_s\,, \\ & y(j) = y_s(j)\,, \quad y(j-k) = y_s(j-q) \\ 0 \quad \text{sonst.} \end{cases} \tag{18}$$

3.3. Adaptionsalgorithmus 3

Bei der den Adaptionsalgorithmen AA1 und AA2 zugrunde liegenden Mittelung werden die übernommenen Werte des Belehrungssignals $y(j-h)$, $h = 0, 1, 2, \ldots$, unabhängig von deren Alter h mit gleichem Gewicht berücksichtigt. Will man jedoch die jüngeren Daten stärker wichten als die weiter zurückliegenden, so gelangt man zu einer Verarbeitung, die als Glättung bezeichnet wird. Einen in seiner rekursiven Form besonders einfachen Glättungsalgorithmus erhält man bei Zugrundelegung der exponentiellen Wichtung [6]. Seine Anwendung auf das vorliegende Problem ergibt den Adaptionsalgorithmus AA3

$$u_l(j) = \begin{cases} (1-a)\,u_l(j-1) + a y(j) & \text{für } l = s \in S \mid x(j) \in M_s\,, \\ & y(j) = y_s(j) \\ u_l(j-1) \quad \text{sonst.} \end{cases} \tag{19}$$

Der Koeffizient $a \in (0, 1]$ dient zur Einstellung des Glättungsverhaltens.

3.4. Adaptionsalgorithmus 4

In [7] wurde ein weiterer effektiver Glättungsalgorithmus vorgeschlagen, dessen minimale Darstellung nicht rekursiv ist. Daraus gewinnt man den Adaptionsalgorithmus AA4

$$u_l(j) = \begin{cases} a y(j) + (1-a)\,y_s(j-1) & \text{für } l = s \in S \mid x(j)\,,\ x(j-k) \in M_s\,, \\ & y(j) = y_s(j)\,,\ y(j-k) = y_s(j-1) \\ u_l(j-1) \quad \text{sonst.} \end{cases} \tag{20}$$

Darin bezeichnet wiederum $a \in (0, 1]$ den Glättungsfaktor.

4. Simulationsanalyse

Die vorstehend beschriebenen Versionen des selbstorganisierenden Klassenreglers sind nunmehr auf ihre Funktionsfähigkeit und Verhaltenseigenschaften zu testen. Dafür bieten sich Simulationsuntersuchungen im Vorfeld industrieller Erprobungen an. Für diesen Zweck wurde das Simulationsprogramm SOKLAR (selbstorganisierender **Klassen**regler) entwickelt, das auf derzeit üblichen Personalcomputern implementiert werden kann. Es ist dialogorientiert und erlaubt die Variation folgender Parameter:

— Dimension des Merkmalsvektors (m)
— Parameter des Hyperkubenklassifikators (n_i, $x_{i\,min}$, $x_{i\,max}$)
— Struktur und Parameter des Adaptationsalgorithmus (AA1 bis AA4; q, a)
— Form der Ergebnisausgabe (Tabelle, Diagramm).

4.1. Serie I

Ziel dieser Versuchsreihe war der Nachweis der Funktionsfähigkeit des Reaktionsalgorithmus auf der Basis der Hyperkubenklassifikation mit nachgeordneter Situationszuweisung. Hierbei wurden manuell eingegebene Lernfolgen benutzt und Klassifikationsprobleme unterschiedlicher Dimension untersucht. Die Experimente bestätigen das erwartete Reaktionsverhalten bei vorgegebenem Reglergesetz.

4.2. Serie II

Diese Simulationsexperimente galten der Prüfung des Konvergenzverhaltens der im Abschn. 3. vorgeschlagenen Adaptionsalgorithmen und Aufdeckung ihrer Verhaltenseigenschaften. Die Simulation der stochastischen Schwankungen im Reaktionsverhalten des Prozeßbedieners erfolgte durch Generierung quasizufälliger Signale mit Normalverteilung. In jeweils gesonderten Experimenten wurden die Filterwirkung sowie das Verhalten beim Erlernen und Umlernen von Stellgrößenwerten analysiert. Dementsprechend erfolgte die Systemerregung zunächst durch ein zentriertes stochastisches Signal, dem bei der zweiten Serie der jeweils zu erlernende Funktionswert als sprungförmiges Signal überlagert wurde. Die Experimente zur Untersuchung des Umlernverhaltens erforderten zunächst die Herstellung eines stationären Lernzustandes, bevor driftartige Änderungen der Stellgrößenwerte in Form rampenförmiger Signale auf das System einwirkten.
Einen Eindruck von den bei den Simulationsexperimenten erhaltenen Verläufen vermitteln die in den Bildern 4 bis 6 dargestellten Diagramme. Diese sind jeweils so angeordnet, daß das Teildiagramm a) den Verlauf des Belehrungssignals $y(i)$ und die Diagramme b) bis e) die Kurven für das unter Wirkung der Adaptionsalgorithmen AA1 bis AA4 erlernte Stellsignal $u_s(j)$ wiedergeben.
Die bei der Analyse des Adaptionsverhaltens erzielten Resultate können wie folgt zusammengefaßt werden:

(i) Die beste Ausfilterung von Störungen wird bei Verwendung der Algorithmen AA1 und AA2 erhalten. Dabei resultiert das augenscheinlich günstigere Einlaufverhalten des Algorithmus AA2 aus der von Beginn des Lernprozesses an stattfindenden Division des Korrekturterms durch den relativ großen Faktor q.

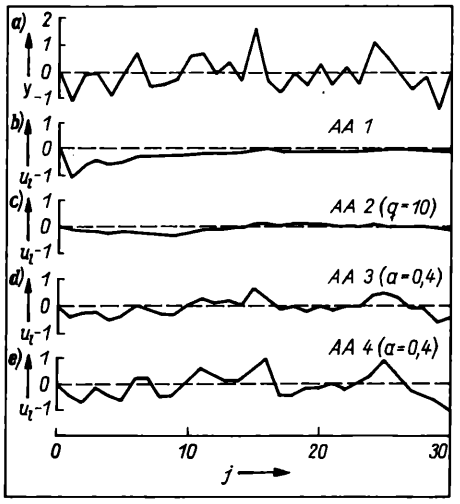


Bild 4. Glättungsverhalten (Simulationsbeispiel)
a) Belehrungssignal, b)—e) erlerntes Stellsignal unter Wirkung der Adaptionsalgorithmen AA1 bis AA4

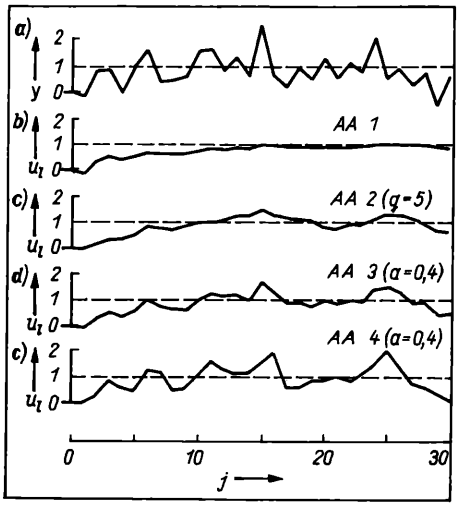


Bild 5. Lernverhalten (Simulationsbeispiel bei sprungförmigem Belehrungssignal)
a) Belehrungssignal, b)—e) erlerntes Stellsignal unter Wirkung der Adaptionsalgorithmen AA1 bis AA4

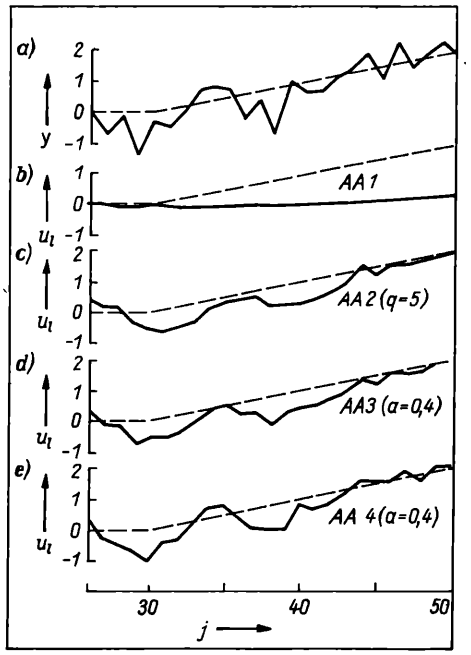


Bild 6. Umlernverhalten (Simulationsbeispiel bei rampenförmiger Änderung des Belehrungssignals)
a) Belehrungssignal, b)—e) erlerntes Stellsignal unter Wirkung der Adaptionsalgorithmen A11—AA4

(ii) Beim Erlernen von Null verschiedener Funktionswerte ergeben die Adaptionsalgorithmen AA2 und AA1 ebenfalls die besseren Ergebnisse. Die bei der Untersuchung der Algorithmen AA2 bis AA4 vorgenommene Variation der Koeffizienten bestätigte die bereits aus der Filtertechnik herrührende Erkenntnis, daß größere Parameterwerte zwar ein gutes dynamisches Verhalten ergeben, dieses aber zu Lasten der Störungsunterdrückung geht. Daher muß eine dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechende Kompromißeinstellung getroffen werden.

(iii) Bezüglich des Umlernens erweist sich der Adaptionsalgorithmus AA1 als mit zunehmender Lerndauer immer weniger in der Lage, Änderungen des eingegebenen Belehrungssignals zu folgen. Wesentlich geeigneter sind in dieser Hinsicht die Algorithmen AA3 und AA2.

4.3. Serie III

In dieser Versuchsreihe war das Gesamtverhalten der Versionen des entwickelten selbstorganisierenden Klassenreglers anhand konkreter Beispiele zu überprüfen. Dabei wurde das jeweils zu erlernende Reglerverhalten durch eine über den Merkmalen x_i, $\forall i \in I$ definierte Funktion $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ festgelegt. Für die Trainierung des selbstorganisierenden Reglers wurden systematisch erzeugte und damit wiederholbare Lernfolgen verwendet. Dazu emittierte ein Generierungsalgorithmus Folgen von Merkmalsbelegungen $x(j)$, die das gesamte Variationsgebiet überdecken. Die Folge der zugehörigen Belehrungssignalwerte $y(j)$ wurde durch Überlagerung eines deterministischen und stochastischen Anteils gebildet, wobei der erstgenannte Term anhand der Reglergleichung berechnet und der zweite durch einen Zufallsgenerator mit Normalverteilung bereitgestellt wurde. Nach einer vorgegebenen Anzahl von Durchläufen erfolgt der Ausdruck des situationsabhängigen erlernten Regelungsgesetzes u_s, $\forall s \in S$. Der Vergleich der erlernten Stellgrößenwerte u_s mit den korrespondierenden Intervallmittelwerten der Belehrungssignale ergab Übereinstimmung bis auf das Restrauschen des jeweiligen Adaptionsalgorithmus.

Zur Illustration ist im Bild 7 das Beispiel einer untersuchten nichtlinearen Reglerfunktion der Dimension $m = 2$ bei Verwendung eines Hyperkubenklassifikators mit 10 Subintervallen je Koordinate dargestellt. Die Simulation erfolgte unter Verwendung des Adaptionsalgorithmus AA2 mit $q = 10$. Im Verlauf des Lernprozesses wurde jeder Stellgrößenwert u_s 20mal adaptiert.

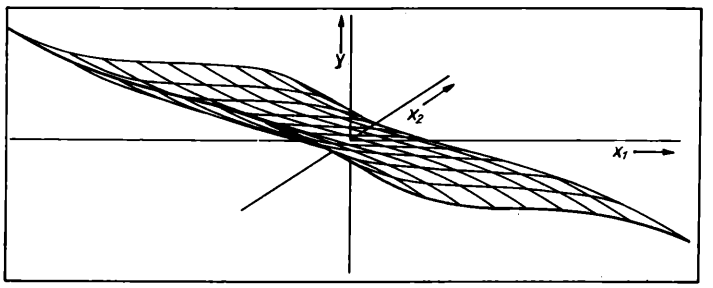


Bild 7. Erlernte nichtlineare Reglerfunktion (Simulationsbeispiel mit m = 2, $n_1 = n_2 = 10$)

Für solche Einrichtungen werden eine logische Struktur vorgeschlagen und Metaalgorithmen angegeben, die die Handlungsweise menschlicher Prozeßbediener weitgehend imitieren. Den Kern der Lösung bilden je ein über einen Speicher miteinander wechselwirkender Reaktions- und Adaptionsmechanismus, der in verschiedenen Versionen angeboten wird. Die Wirkungsweise des selbstorganisierenden Klassenreglers entspricht der Verarbeitung unscharfen Wissens in Regelform beispielsweise der Art:

IF Regelgröße viel über Sollwert AND Regelgröße steigt schnell an THEN reduzierte Stellgröße stark.

Diese Regeln werden im vorliegenden Fall durch eine mehrfache Abbildung wirksam gemacht. Die beschriebenen algorithmischen Lösungen wurden anschließend anhand von Simulationsexperimenten einer vielseitigen Analyse unterzogen. Diese bestätigte die Funktionsfähigkeit der vorgestellten Versionen und vermittelte Einsichten bezüglich der jeweiligen Verhaltenseigenschaften. In weiteren Schritten ist nun die Trainierung des selbstorganisierenden Klassenreglers mit dem Regelverhalten erfahrener Prozeßbediener anhand realer Prozesse zu erproben. Dafür dürfte die nachträgliche Analyse der hierbei erlernten Reglergesetze sicher aufschlußreich sein.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Es wurde gezeigt, daß das Erfahrungswissen versierter Prozeßbediener zur Trainierung selbstorganisierender Klassenregler genutzt werden kann.

Literatur

[1] Lunze, J.: Wissensbasierte Systeme. Teil 2: Einsatzmöglichkeiten in der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 502—508.

(Fortsetzung auf Seite 395)

H.-P. Seddig

Aspekte der Selbstdiagnose für den Einsatz in dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen

0. Einleitung

Die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Prozeßautomatisierungssystemen, besonders für die Kernkraftwerkstechnik, ist gegenwärtig eine viel diskutierte Zielstellung. Die Auswahl geeigneter Maßnahmen unter Beachtung der Gesamtkosten für Entwicklung, Produktion, Betrieb und Wartung ist eine anspruchsvolle systemtechnische Aufgabe. Unterschiedliche Einsatzfälle erfordern jeweils spezifische Systemlösungen. In diesem Zusammenhang nimmt die Frage nach einer angemessenen Zuverlässigkeit [1] immer mehr an Bedeutung zu. Trotz der Tendenz zu hochzuverlässigen fehlertoleranten Anlagen sowie der weitgehenden Herauslösung des Menschen aus dem System der Prozeßautomatisierung sind allein schon aus ökonomischen Erwägungen die Möglichkeiten des menschlichen Eingriffes weiterhin vorzusehen (Überwachen, Warten, Reparieren). Allerdings ist zu beachten, daß aufgrund der zunehmenden Menge von Primärinformationen sowie der immer weiter vorangetriebenen Informationsreduktion die Fähigkeit des Anlagenpersonals sinkt, die Glaubwürdigkeit aller Informationen zu überprüfen. Das erfordert einerseits zusätzliche Maßnahmen zum Nachweis der Fehlerfreiheit der Leittechnik und andererseits bei aufgetretenen Ausfällen eine geeignete Mitteilung an das Betriebspersonal.
In modernen mikrorechnerorientierten Prozeßautomatisierungssystemen erlangen fortgeschrittene Methoden der Selbstdiagnose eine zunehmende Bedeutung. Insbesondere haben Geschwindigkeit und Vollständigkeit der Fehlererkennung und -ortung einen wesentlichen Einfluß auf die Zuverlässigkeitsfunktion [2]. Der Beitrag beschäftigt sich mit Aspekten der lokalen Selbstdiagnose in dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen. Ausgehend von grundsätzlichen Betrachtungen einer geeigneten Diagnosestrategie [3] werden Probleme der Belastung des Rechners durch die Fehlererkennungsmaßnahmen behandelt. Anschließend wird das Diagnosesystem DIDEP vorgestellt. Es dient der permanenten Ermittlung des Funktionszustandes von dezentralen Prozeßrechneranlagen (Basis K 1520/ursadat 5000).

1. Grundsätzliche Probleme

Selbstdiagnose ist die Fähigkeit eines Systems, defekte Komponenten selbständig mit Hilfe der noch intakten zu erkennen (Fehlerdetektion) und zu lokalisieren (Fehlerdiagnose). Sie soll stets eine aktuelle und schnelle Übersicht über den Zustand des Gesamtsystems gewährleisten.
Das Selbstdiagnosesystem muß sich den vorgegebenen Hardware- und Software-Möglichkeiten (im betrachteten Fall der 8-bit-Technik) anpassen. Das heißt, es ist so aufzubauen, daß es mit dem verfügbaren Speicherbereich in der geforderten Fehlererkennungszeit alle Komponenten der Automatisierungsanlage mit der notwendigen Prüftiefe überwacht. In diesem Zusammenhang spielt natürlich auch der Auslastungsgrad des Systems (Anzahl der Meßstellen, Meßzeiten, Zykluszeiten usw.) eine entscheidende Rolle.

1.1. Fehlertyp und Fehlermodell

Die Berücksichtigung aller denkbaren Fehlerfunktionen der Hardware ist aus Zeit- und Aufwandsgründen nicht realisierbar. Deshalb ist eine sinnvolle Auswahl bestimmter vorwiegend auftretender Fehlertypen notwendig, die durch das Fehlermodell beschrieben werden.
Bei der Erarbeitung des Fehlermodells ist zu beachten, daß Fehler auf sehr unterschiedliche Art und zu ungewissen Zeitpunkten auftreten. Sie können sich sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung fortpflanzen. Aus einem Primärfehler können mehrere Sekundärfehler entstehen [4]. Die größten Schwierigkeiten für die Fehlererkennung und -diagnose entstehen oft nicht bei gravierenden, sondern bei geringfügigen Fehlern, die nach außen weitgehend korrektes Verhalten zeigen, dabei schwer erkennbar sind und leicht zu Inkonsistenzen führen. Des weiteren hat man bei der Suche der Fehlerursachen zu berücksichtigen, daß eine Trennung von Hardware- und Softwarefehlern auf verschiedenen Ebenen oft nicht möglich ist.
Neben der Angabe der von einem Fehler betroffenen Objekte muß ein Fehlermodell auch zur Art des fehlerhaften Verhaltens eine Aussage treffen. Für den erstgenannten Zweck genügt das Boolesche Fehlermodell. Für die Beschreibung des fehlerhaften Verhaltens dagegen erweist sich ein aufzählendes Fehlermodell als zweckmäßiger. Dieses Modell wird gebildet, indem alle Arten des möglichen Fehlerverhaltens genannt werden. Hierbei kann durch die größere Detailtiefe eine bessere Beurteilung der jeweiligen Komponenten erreicht werden. Allerdings kann die Anzahl der aufzuzählenden Komponenten sehr groß werden, so daß man nach Möglichkeiten der Zusammenfassung suchen muß. Damit bleibt die Aufzählungsliste i. allg. unvollständig.

1.2. Fehlererkennung

Die Fehlererkennung kann mittels Testen und Prüfen sowie unter Ausnutzung von Redundanz durchgeführt werden.
Ein Test ist eine Maßnahme, um an gewissen Objekten ein vom Sollverhalten abweichendes Verhalten festzustellen. Dazu werden der betreffenden Einheit bekannte Daten eingegeben und die Ergebnisse mit den Sollwerten verglichen. Ein Test kann demzufolge nur permanente Fehler identifizieren, versagt jedoch bei transienten.
Generell kann man für die Fehlererkennung strukturorientierte oder funktionsorientierte Tests einsetzen. Beim strukturorientierten Test versucht man, je nach geforderter Diagnosetiefe, bei jedem Baustein oder auf der gesamten Leiterplatte von der Ermittlung aller möglichen Ausfallmechanismen auszugehen. Dazu werden detaillierte Kenntnisse über das gesamte Testobjekt benötigt. Berücksichtigt man die Anordnung der Elemente und die Führung der Leiterbahnen, ergibt sich ein sehr umfassendes Modell. Aufgrund des sehr hohen Aufwandes für die Entwicklung werden strukturorientierte Tests kaum angewendet.

Dipl.-Ing. HANS-PETER SEDDIG (37) studierte von 1969 bis 1973 an der TU Dresden in der Fachrichtung Informationstechnik. Seit 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Prozeßrechentechnik des Bereiches Reaktorphysik im Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf der AdW der DDR.

(Fortsetzung von Seite 394)

[2] AHNERT, G.; LOCKE, M.: Zur unscharfen Steuerung und Modellierung des An- und Abfahrens eines komplexen verfahrenstechnischen Prozesses. Intern. Wiss. Koll. der TH Ilmenau 1985, H. A. S. 11—14.
[3] PALM, R.: Design of a fuzzy controller for a sensor guided robot manipulator. (to appear).
[4] WELLER, W.: Ein rechnerfreundlicher Hyperkuben-Lernklassifikator. Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Elektronik, Forschungsbericht AT 83—4 (unveröff.).
[5] WELLER, W.: Lernende Steuerungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985 und München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1985.
[6] BROWN, R. G.: Smoothing, Forecasting, and Prediction of Discrete Time — Series. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall Inc. 1962.
[7] KASSNER, U.: Entwurf und Untersuchung eines verallgemeinerten Dead-beat-Regelalgorithmus. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation A 1988.

msr 8860

Die heute gebräuchlichsten Methoden zur Ausfallerkennung sind funktionsorientierte Tests [5] und [6]. Bei dieser Betrachtungsweise versucht man, das zu prüfende Testobjekt anhand seiner Funktionsbeschreibung zu analysieren. Dabei kommt es weniger darauf an, alle möglichen Ausfälle zu erkennen, sondern vielmehr durch die Kontrolle der Funktion seine Fehlerfreiheit nachzuweisen.
Beim Prüfen werden unerlaubte Zustände, Wertebereiche von Daten oder die Zeitdauer von Operationen untersucht. Damit können permanente Fehler und mit großer Wahrscheinlichkeit auch transiente Fehler entdeckt werden.
Statistische Redundanzmaßnahmen, wie der Vergleich oder das Votieren von Datenbeständen, identifizieren beide Fehlerarten. Hierunter fallen auch die Methoden der Wiederholung von bestimmten Aktionen.
Prinzipiell sollte die Fehlerentdeckung in möglichst kurzer Zeit nach dem Eintreten und in der Nähe des Fehlerortes erfolgen, damit eine Fehlerfortpflanzung vermieden wird.

1.3. Fehlerdiagnose

Die Diagnose hat die Aufgabe, die Anzahl und den Umfang der Fehlererkennungsmaßnahmen festzulegen, deren Ergebnisse zu bewerten und bei Notwendigkeit geeignete Reaktionen auszulösen. Bild 1 zeigt das dazugehörige Ablaufschema.
In diesem Zusammenhang ist es noch einmal notwendig, den Unterschied zwischen Fehler, Ausfall und Störung herauszustellen. Anlehnend an [2] gibt die Tafel dazu eine Übersichtsdarstellung. Obwohl i. allg. nur die Begriffe Fehlererkennung und -diagnose verwendet werden, handelt es sich bei der praktischen Realisierung eines Selbstdiagnosesystems um die Detektierung von Ausfällen. Aufgrund vorgegebener Randbedingungen kann es in Abhängigkeit vom geforderten Diagnoseniveau jedoch notwendig sein, das Ereignis Störung mit zu berücksichtigen. Eine zentrale Stellung innerhalb der Diagnose nimmt der Test ein. Sein Aufruf kann

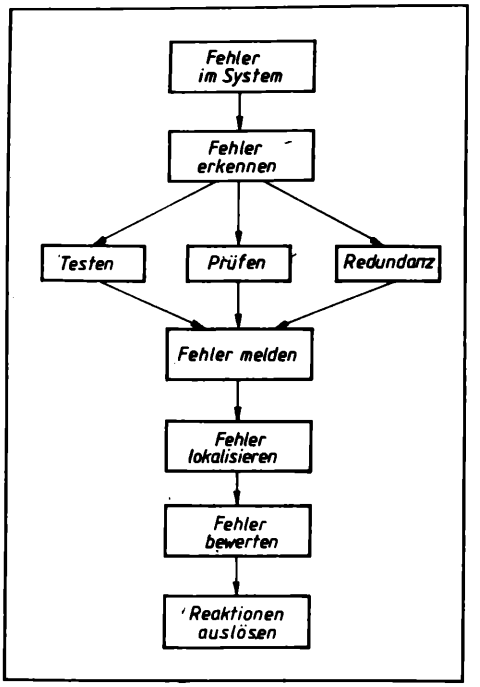
- zu Leerlaufzeiten des Rechners
- periodisch
- bei Benutzung der jeweiligen Ressourcen

erfolgen. Die Fragen einer geeigneten Teststrategie für die Rechner K 1520/ursadat 5000 werden in [3] ausführlich behandelt. Das Diagnosesystem hat die Aufgabe, entsprechend dieser Strategie die einzelnen Tests anzustoßen und deren Ergebnisse auszuwerten. Die Methode des Prüfens, auch funktionsbegleitender Test genannt, erfolgt in der Regel auf Betriebssystemebene. Des weiteren wird sie im Rahmen der Erfassung und Primärverarbeitung der Meßwerte angewendet. Gerade diese sogenannten Plausibilitätsprüfungen können zur Fehlererkennung sehr wirksam sein und bereits einen relativ hohen Prozentsatz von Fehlern erkennen. Allerdings werden mit dieser Methode i. allg. nur Sekundärfehler erkannt. Deshalb muß die Diagnose in geeigneter Weise auf die Ergebnisse der Prüfung

Tafel. Zusammenhang zwischen Fehler, Ausfall und Störung

Mängel	Begriffe
Einzelne Hardwarefunktionen sind fehlerhaft, werden jedoch nicht oder noch nicht benötigt, z. B. zeitkritische Schaltungsdimensionierung	Fehler
Ein Fehler führt zur Beeinträchtigung einer Funktion, z. B. Ausfall eines unterdimensionierten Netzgerätes	Fehler — Ausfall — Störung
Ein Bauteil ist ausgefallen, und die Funktion wird z. Z. nicht benötigt, z. B. Ausfall eines redundanten Gerätes	Ausfall
Ein Ausfall beeinträchtigt eine vom Anwender benötigte Funktion, z. B. Ausfall einer z. Z. benötigten nicht redundanten Einheit	Ausfall — Störung

Bild 1. Ablaufschema für die Fehlerdiagnose



zurückgreifen und anschließend Maßnahmen zur Fehlerlokalisierung einleiten. Die Ausbreitung eines Fehlers innerhalb des Gesamtsystems ist um so weiter fortgeschritten, je höher die Ebene ist, auf der die Fehlererkennung wirkt. Sind Fehler in der Nähe des Entstehungsortes nicht bzw. nicht innerhalb gewisser Zeitschranken detektierbar, so muß ein Mechanismus auf Systemebene wirksam werden. Um eine möglichst vollständige Fehlerabdeckung zu erreichen, zwingt das zu einem hierarchischen Aufbau des Selbstdiagnosesystems. Das bedeutet weiterhin, eine ausgewogene Kombination von Testen und Prüfen auf verschiedenen Ebenen sowie zu definierten Zeitpunkten einzusetzen.
In der Regel hat auf lokaler Ebene die Diagnose statischen Charakter. Dabei wird, unabhängig vom konkreten Zustand des Systems, zu Beginn der Diagnose die Strategie festgelegt. Ungeachtet dessen sollten jedoch zur Bewertung der Ergebnisse innerhalb der Rahmenbehandlung des Diagnosesystems Mechanismen eingebaut sein, die bei bestimmten Ereignissen (z. B. Auftreten schwerwiegender Fehler) die Teststrategie variieren bzw. sofort entsprechende Systemreaktionen auslösen.
Neben der Fehlererkennung und der damit zusammenhängenden Bereitstellung von Statusinformationen hat die Diagnose die Aufgabe, die Fehlergeschichte in Form einer lokalen Fehlertabelle bereitzustellen. Wichtigste Inhalte sind hierfür:

- die betroffene Einheit
- der Fehlerort (z. B. Baugruppe)
- der Zeitpunkt des Auftretens des Fehlers.

Diese Informationen sind insbesondere für die Wartung von Bedeutung.

1.4. Die Belastung des Echtzeitverhaltens eines Prozeßrechnersystems durch die Selbstdiagnose

Die Selbstdiagnose benötigt einen Teil der Rechnerleistung. Neben dem erforderlichen Speicherplatz sowie ggf. einem gewissen Hardwarezusatz (Baugruppen, einzelne E/A-Kanäle) verbraucht sie vor allem Rechenzeit. Gerade bei Prozeßautomatisierungssystemen spielt die Frage des Echtzeitverhaltens eine wesentliche Rolle.
Bei der Durchführung der Selbstdiagnose während des laufenden Betriebes eines Prozeßrechnersystems müssen deshalb folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- keine Beeinträchtigung des Echtzeitverhaltens
- Unterbrechbarkeit in möglichst kurzen Abständen
- zerstörungsfreie Fehlererkennung.

Die Maßnahmen zur Fehlerdiagnose belasten das Rechnersystem in erheblichem Maße. Allgemein gilt für die Belastung RB_n eines Rechnersystems durch die Aufgabe n

$$RB_n = \frac{\overline{t_{An}}}{\overline{t_{Zn}}} . \tag{1}$$

$\overline{t_{An}}$ mittlere Bearbeitungszeit der Aufgabe n; $\overline{t_{Zn}}$ mittlere Zykluszeit auf die Aufgabe n

Zur Einhaltung des Echtzeitverhaltens, d. h. der Bearbeitung aller Aufgaben in einem bestimmten Zeitregime, muß

$$RB = \sum_n RB_n \leqq 1 \tag{2}$$

gesichert sein.
Besteht ein Diagnosesystem aus mehreren Tasks i, so müssen sich diese mit einer entsprechenden Zykluszeit und Priorität in den Gesamtablauf einordnen.
Unter der Annahme, daß die Diagnose mit einem bestimmten Grundzyklus t_{Zg} abläuft und alle anderen Tasks mit einer Zykluszeit t_{Zx} gestartet werden, setzt sich die benötigte Gesamtdauer t_{SD} nach [7] wie folgt zusammen:

$$t_{SD} = t_{SDg} + \sum_x \frac{t_{SDx}}{K_x} , \tag{3}$$

$$K_x = \frac{t_{Zx}}{t_{Zg}} . \tag{4}$$

$K_x = 1, 2, \ldots, n$; t_{SDg} Zeitdauer für die Bearbeitung der Diagnose im Grundzyklus; t_{SDx} Gesamtdauer aller Diagnosetasks mit der Zykluszeit t_{Zx}

In der Regel werden nicht alle Tests innerhalb eines Grundzyklus abgearbeitet. Länger dauernde Tests können sich über mehrere Grundzyklen erstrecken. Sie müssen jedoch innerhalb ihrer Zykluszeit abgeschlossen sein. Das erfordert einerseits große Zykluszeiten und andererseits eine geringe Priorität, damit sie durch kurze Programme, die öfters ablaufen, unterbrochen werden können.
Neben der Gesamtdauer sind bei einem Test während des laufenden Betriebes die Unterbrechbarkeit sowie die zerstörungsfreie Fehlererkennung von besonderer Bedeutung. Nachstehend soll dieser Zusammenhang kurz betrachtet werden.
Ein zerstörungsfreier Test für einen Modul (z. B. RAM-Speicher, E/A-Modul) bestehe aus mehreren Elementartests ET_i. Ein Elementartest kann z. B. den Test eines Schaltkreises (PIO, CTC u. ä.) oder den Test einer/mehrerer Speicherzellen beinhalten. Er setzt sich aus folgenden Phasen zusammen:

- Phase I: Retten des Zustandes des Testobjektes
- Phase II: Testdurchführung
- Phase III: Restaurierung des Zustandes
- Phase IV: Fehlerauswertung.

Vor Beginn der zweiten Phase und bis zum Abschluß der dritten Phase darf der Elementarzyklus nicht unterbrochen werden (DI-Zustand). Allerdings muß diese unterbrechungsfreie Zeit t_{DI} so kurz wie möglich sein, damit wichtige INT-Signale höherer Priorität (z. B. Uhr, Prozeßsignale) nicht für längere Zeiträume verzögert werden. Aus diesem Grund wurde auch die Fehlerauswertung nicht in Phase II integriert, sondern als selbständige Phase IV angeschlossen. Bild 2 zeigt den Aufbau eines zerstörungsfreien Tests noch einmal im Überblick.
Die Ausführungen dieses Abschnittes verdeutlichen, daß bei der Entwicklung eines Diagnosesystems neben den Fragen der Anzahl und der Güte der Fehlererkennungsmaßnahmen, die Zeitdauer sowie die Priorität der Maßnahmen von besonderer Bedeutung sind. Erst die Berücksichtigung aller Komponenten erlaubt die Implementierung differenzierter Diagnoseniveaus entsprechend den jeweiligen Erfordernissen.

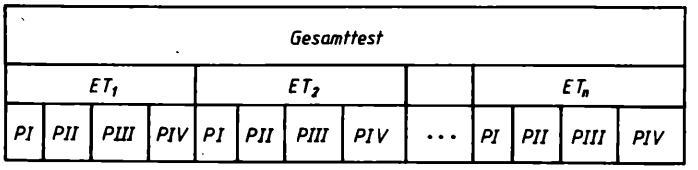


Bild 2. Aufbau eines zerstörungsfreien Tests
ET Elementartest; PI Phase I; ...

2. DIDEP — Ein System zur Selbstdiagnose in dezentralen Prozeßautomatisierungsanlagen

Das Selbstdiagnosesystem DIDEP [7] dient der permanenten Ermittlung des Funktionszustandes von dezentralen Mehrrechneranlagen für die Prozeßautomatisierung.
Die gerätetechnische Basis bilden K-1520/ursadat-5000-Netze. Des weiteren werden das Echtzeitsteuerprogrammsystem EIEX 1521 [8] sowie das Meßwerterfassungs- und Primärverarbeitungssystem MEPRIM/MEZA [9] und [10] benötigt.
Ausgehend von diesen Randbedingungen sowie ökonomischen Erwägungen soll das Problem einer angemessenen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit durch den Einsatz des Systems DIDEP derart gelöst werden, daß fehlerhafte Meßergebnisse nicht unerkannt bleiben. Das heißt, ein Fehler bzw. eingetretener Ausfall ist so frühzeitig zu erkennen, daß noch genügend Zeit und Möglichkeiten bleiben, um durch geeignete Maßnahmen Schäden zu vermeiden. Entsprechend der geforderten Spezifikation für das Gesamtsystem muß genügend Spielraum bestehen, entweder automatisch oder durch das Betriebspersonal die defekten Komponenten außer Betrieb zu nehmen und eine Reparatur durchzuführen bzw. gegebenenfalls redundante Einheiten aufzuschalten.
Bei der Entwicklung von DIDEP wurden folgende grundlegende Entwurfsziele berücksichtigt:

- Erkennung von permanenten Hardwarefehlern
- Berücksichtigung von transienten Hardwarefehlern
- On-line-Diagnose im Echtzeitbetrieb
- keine Beeinträchtigung des Echtzeitverhaltens
- zerstörungsfreie Fehlererkennung
- Fehlerprotokollierung
- Möglichkeit für einen Dialogbetrieb
- Austausch von Diagnoseinformationen innerhalb des Rechnernetzes
- Generierungsfähigkeit für verschiedene Ausbaustufen.

Die universelle Generierbarkeit bezüglich Umfang, Priorität und zeitlichen Anforderungen gibt dem Anwender die Möglichkeit, differenzierte Diagnoseniveaus zu realisieren.
Neben dem Einsatz im Echtzeitbetrieb stellt es durch seine Fehlerprotokollierungs- und Dialogmöglichkeiten eine wirksame Unterstützung bei der Instandhaltung dar.

2.1. Diagnosestrategie

In der derzeitigen Ausbaustufe für die „lokale Überwachung einzelner Rechner" können folgende Diagnosevarianten realisiert werden:

- On-line-Diagnose während des laufenden Betriebes
- vollständige Selbstdiagnose im Systemanlauf
- situationsabhängige Diagnose durch den Operator/Wartungstechniker im Dialog.

Art und Umfang der Diagnose werden durch den Anwender unter Beachtung folgender Randbedingungen generiert:

- Anzahl und Art der Module
- Betriebsart der E/A-Module
- Belastung des Rechnersystems durch den Prozeß
- gefordertes Diagnoseniveau.

2.2. Fehler- und Testmodell

Unter Berücksichtigung der Betrachtungen im Abschn. 1.1. wird im System DIDEP nicht das Prinzip der vollständigen Fehlererkennung

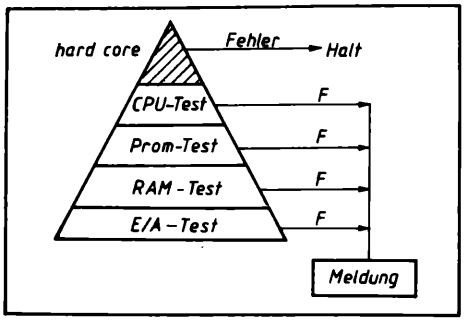


Bild 3. Typische Schalen des Selbsttests

verwirklicht, sondern mit Hilfe gezielter Tests ein großer Teil von Fehlern erkannt.

Die Basis für die Teststrategie bildet ein Modell, das sich aus den drei Mengen „Modul" $\{m_i\}$, „Fehler" $\{f_i\}$ und „Test" $\{t_i\}$ zusammensetzt. Das heißt, als kleinste zu testende Einheit wird der Modul angesehen (auf dieser Ebene erfolgt im Fehlerfall der Austausch).

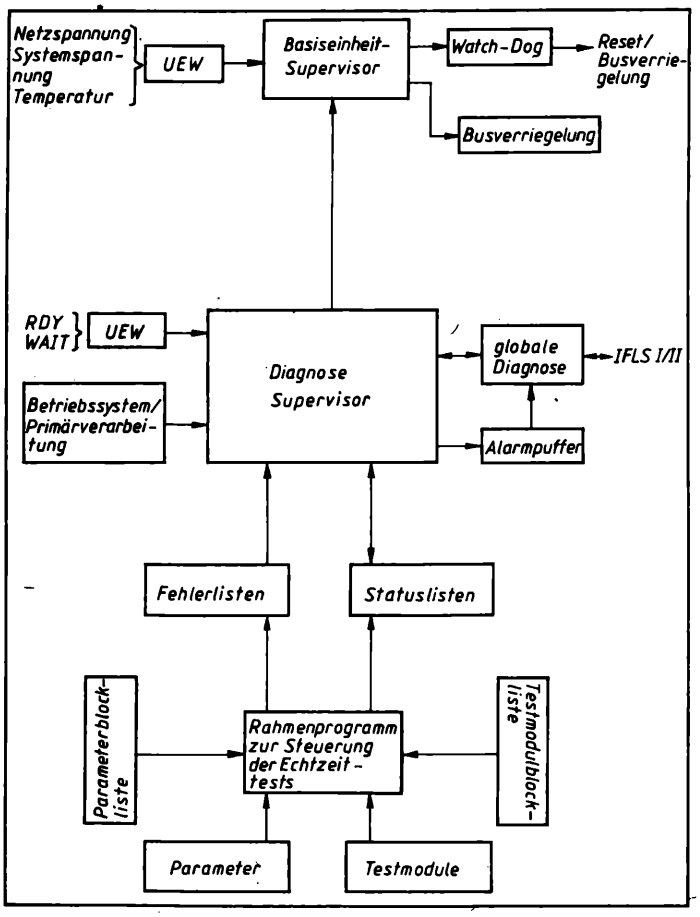
Es werden der Menge von Moduln eine definierbare Menge von Fehlern und dieser eine Menge von Tests zugeordnet. Mit Hilfe eines aufzählenden Fehlermodells kann das fehlerhafte Verhalten eines Moduls sinnvoll beschrieben werden. Fehler werden dabei generell auf die jeweilige Funktion des Moduls bezogen (z. B. fehlerhaftes Verhalten in einer bestimmten Betriebsart). Der Zusammenhang zwischen Fehler- und Testmenge kann in einer Prüfmatrix dargestellt werden [11].

2.3. Diagnose während des laufenden Betriebes

Die Strategie für die Diagnose im Echtzeitbetrieb wird vor der Inbetriebnahme, d. h. unabhängig vom konkreten Funktionszustand, festgelegt. Unter Beachtung der vorhandenen Rechnerbelastung muß im Gesamtsystem das gewünschte Diagnoseniveau in Form von

— Umfang
— Priorität
— zeitlicher Einordnung

Bild 4. Struktur des Systems DIDEP für die lokale Diagnose einer Basiseinheit



für jeden Modul einzeln generiert werden. In jedem Fall sind die möglichen Auswirkungen eines fehlerhaften Verhaltens (Systemausfall/Teilausfall) sowie die zeitliche Beanspruchung der einzelnen Komponenten speziell zu berücksichtigen. Generell können bei dieser Variante nur die zerstörungsfreien Fehlererkennungsmaßnahmen mit geringen Interruptblockierungszeiten eingesetzt werden.

Die Diagnosestrategie während des laufenden Betriebes basiert sowohl auf Test- als auch auf Prüfmethoden. Beide Fehlererkennungsmaßnahmen werden in dem hierarchisch aufgebauten Diagnosesystem zu definierten Zeitpunkten auf verschiedenen Ebenen wirksam.

2.4. Vollständige Diagnose im Systemanlauf

Eine vollständige Selbstdiagnose kann nur im Systemanlauf realisiert werden. Sie umfaßt alle möglichen Testobjekte. Beginnend bei einem Testkern wird schrittweise, immer unter Verwendung der bereits getesteten Komponenten die nächst äußere Schale geprüft (Bild 3). Diese Strategie wird solange fortgesetzt, bis schließlich alle Teile des Systems kontrolliert sind.

Den Testkern (hard core) bildet die ZRE-Baugruppe. Ein kleinerer Testkern, wie der Datenbus, kann aufgrund der durch das Betriebssystem benötigten Restart-Zellen (vgl. dazu [3]) nicht gewählt werden. Innerhalb der einzelnen Schalen ist der Steckplatz für die Testreihenfolge maßgebend. Rückkopplungen von Ausgabe- auf Eingabemoduln sind in der gegenwärtigen Ausbaustufe nicht vorgesehen.

Für die Diagnose im Systemanlauf werden nur Testverfahren zur Fehlererkennung eingesetzt. Dabei ist zu beachten, daß erst nach dem RAM-Test der Stack benutzt werden kann.

Im Unterschied zur Diagnose im Echtzeitbetrieb stehen hier zerstörende Testverfahren zur Verfügung. Des weiteren können die Interruptblockierungszeiten sowie die Diagnosedauer weitestgehend unberücksichtigt bleiben. Im gewissen Umfang ist ein Test des Interruptsystems möglich.

Liegt ein Fehler im Testkern vor, geht das System in den HALT-Zustand. Ansonsten werden die Fehlermeldungen in Statustabellen abgelegt. Bei einem fehlerhaften Rechnerkern wird ein Systemanlauf verhindert.

2.5. Situationsabhängige Diagnose

Das Diagnosesystem DIDEP stellt neben den Statusinformationen bei auftretenden Fehlern detailliertere Meldungen zur Verfügung. Damit besteht die Möglichkeit, diese Informationen sowohl lokal anzuzeigen als auch zu einem anderen Rechner innerhalb des Netzes zu übertragen.

Zusätzlich kann es in Abhängigkeit von bestimmten Funktionszuständen der Automatisierungsanlage notwendig sein, das Diagnoseregime zu ändern. Dazu wurde für DIDEP ein entsprechendes Dialogsystem geschaffen. Neben der Beeinflussung im laufenden Betrieb dient es insbesondere während der Wartung zur Unterstützung bei der Fehlersuche.

2.6. Übersicht zum Programmsystem

Das Diagnosesystem DIDEP ist ein hierarchisch strukturiertes, streng modular aufgebautes Softwarepaket. Als hardwaremäßige Ergänzung können z. Z. der UEW-Modul und eine Watch-Dog-Einheit integriert werden. Die Gesamtstruktur des Systems zeigt Bild 4.

Die höchste Priorität innerhalb von DIDEP hat der Basiseinheit-Supervisor. Er überwacht den Diagnose-Supervisor sowie sämtliche Komponenten, die zum Systemausfall (Basiseinheitenausfall) führen. Er selber wiederum kann durch einen Watch-Dog-Zähler kontrolliert werden.

Der Diagnose-Supervisor wertet die Ergebnisse der Diagnose aus und initiiert gegebenenfalls die Fehlermeldungen. Eine weitere Aufgabe besteht in der gezielten Überwachung von Meldungen aus dem Betriebssystem EIEX bzw. der Meßwerterfassung/Primärverarbeitung (MEPRIM/MEZA). Diese Informationen sind das Ergebnis von Prüfungen (z. B. Plausibilitätsprüfung). Bei Auftreten einer Fehlermeldung aktiviert der Supervisor sofort den Testmodulblock

der entsprechenden Baugruppe. Diese Reaktion erlaubt eine Ursächlichkeitsprüfung auf Hardwarefehler. Des weiteren ist der Diagnose-Supervisor für die globale Diagnose innerhalb des Rechnernetzes verantwortlich.
Auf unterster Ebene organisiert ein Rahmenprogramm die eigentliche Fehlererkennung.

2.7. Test- und Prüfmoduln

Für folgende Baugruppen (ursadat 5000) stehen jeweils mehrere Testmoduln zur Verfügung:

— ZRE
— PFS
— OPS
— DES
— UIZ
— AE
— DAR.

Für den Prozessor U880 wurde in Anlehnung an [5] ein Testverfahren auf der Basis des Befehlssatzes entwickelt. Es benötigt etwa 2,5 Kbyte Speicherplatz. Aufgrund des begrenzten Speicherumfanges kann aber auch nur eine Minimalvariante (400 byte) verwendet werden. Sie umfaßt neben dem Grundtest sämtliche Register- und Sprungbefehle einschließlich des Tauschregistersatzes.
Innerhalb des Basiseinheit-Supervisors sind zwei Moduln zur Überwachung wichtiger Betriebssystemfunktionen integriert.

2.8. Generierung

Die Realisierung differenzierter Diagnoseniveaus entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls wird durch die universelle Generierbarkeit des Systems DIDEP gewährleistet. Es besteht die Möglichkeit, individuell für jeden Modul einer Basiseinheit **Diagnoseumfang, Zykluszeit und Priorität** festzulegen. Dazu sind jedem Programm- und Datenfile ausführlich kommentierte Generierungslisten vorangestellt. Zur Unterstützung der Generierung kann eine umfangreiche Makrobibliothek genutzt werden.
Besondere Aufmerksamkeit ist bei der Festlegung des Diagnoseniveaus auf die zeitliche Auslastung zu legen. Generell sollten sehr zeitintensive Testmoduln mit niedriger Priorität und genügend großen Zykluszeiten arbeiten.
Des weiteren müssen genügend Zeitreserven für die Fehlerregistrierung sowie die (noch zu realisierende) globale Diagnose vorhanden sein.
Der eigentliche Systemkern von DIDEP benötigt etwa 3 Kbyte PROM und 0,5 Kbyte RAM.
Für eine maximale Ausbauvariante (30 Baugruppen) ergibt sich ein Speicherplatzbedarf von etwa:

— 4,6 Kbyte PROM (mit Minimalvariante für CPU-Test)
— 3,5 Kbyte RAM.

Zusammenfassung

Die zunehmende Bedeutung von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erfordert Maßnahmen zur Fehlerdiagnose und darauf aufbauend zur Fehlertoleranz als wichtige Bestandteile der Entwicklung moderner Automatisierungssysteme.

Mit der Realisierung der lokalen Ausbaustufe des Diagnosesystems DIDEP konnte gezeigt werden, daß differenzierte Diagnoseniveaus für unterschiedliche Hardwarekonfigurationen erreichbar sind. Einsatzfälle im Bereich der Kernkraftwerksautomatisierung [7] und [12] lassen erkennen, daß die Fehlererkennungszeiten bei einem mittleren Diagnoseniveau für schwerwiegende, das System beeinflussende Fehler im Sekundenbereich und für den Rest unter 1 min liegen können. Für ein hohes Diagnoseniveau mit einem entsprechenden Zeitfonds verkürzen sich diese Zeiten noch erheblich.
Das System DIDEP ist auf einem lokalen Prozeßüberwachungssystem für den Rossendorfer Forschungsreaktor implementiert und wird hier z. Z. einer umfangreichen Erprobung unterzogen.
Bei der Entwicklung einer geeigneten Diagnosestrategie zeigte sich die Notwendigkeit, stets eine Kombination mehrerer sich ergänzender und überlappender Maßnahmen zur Fehlererkennung und -ortung einzusetzen. Das führte zwangsläufig zu einem hierarchischen Aufbau von DIDEP.
Die Grenzen für die Diagnose bez. Tiefe, Umfang und Geschwindigkeit werden durch die gegenwärtig vorhandene Gerätetechnik sowie die implementierten Betriebssystemfunktionen gesetzt. Der streng modulare Aufbau sowie die in weiten Grenzen universelle Generierbarkeit des Diagnosesystems ermöglichen den Einsatz in vielen über die Kernkraftwerkstechnik hinausgehenden Anwendungsfällen. Die lokale Diagnose ist die Grundlage für ein umfassendes globales Diagnosesystem innerhalb eines Rechnernetzes, an dessen Realisierung gegenwärtig gearbeitet wird.

Literatur

[1] Töpfer, H.; Reinig, G.: Automatisierungsstrukturen, ihre systematische und rechnergestützte Gestaltung. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 36 (1986) 1, S. 130—138.
[2] Stübler, H. J.: Methode zur Bestimmung der Ausfallhäufigkeit von Prozeßrechnern. Prozeßrechner 84, 4. GI-Fachtagung, Karlsruhe, September 1984. Informatik-Fachberichte 86, Springer-Verlag 1984.
[3] Seddig, H.-P.: Studie zur Selbstdiagnose in dezentralen Mehrrechnersystemen für die Prozeßautomatisierung. Arbeitsbericht RPR-3/85 des ZfK Rossendorf.
[4] Trauboth, H.: Zuverlässigkeit von DV-Systemen — eine systemtechnische Aufgabe. 8. GI-NTG-Fachtagung, Informatik-Fachberichte 78, Springer-Verlag 1984.
[5] Hunger, A.: Entwicklung eines Verfahrens zum Selbsttest von Mikroprozessoren. Rheinland: Verlag TÜV 1982.
[6] Hedtke, R.: Mikroprozessorsysteme — Zuverlässigkeit, Testverfahren, Fehlertoleranz. Berlin u. a.: Springer-Verlag 1984.
[7] Seddig, H.-P.: Selbstdiagnose in dezentralen Mehrrechnersystemen für die Prozeßautomatisierung, Teil 1: Lokale Diagnose. Arbeitsbericht RPR-4/86 des ZfR Rossendorf.
[8] Tomandl, E. P.: Das Echtzeitsteuerprogrammsystem EIEX 1521. rechentechnik/datenverarbeitung, Beiheft 4/1981, S. 54—59.
[9] Lindner, A.; Hesse, H.: Anwendungsbeschreibung für das Programmsystem MEPRIM. Arbeitsbericht RPR-1/83 des ZfK Rossendorf.
[10] Seddig, H.-P.: Anwendungsbeschreibung für das Programmsystem MEZA. Arbeitsbericht RPR-8/84 des ZfK Rossendorf.
[11] Seddig, H.-P.: Prüfmatrix für Module der Prozeßrechner ursadat 5000. Internes Arbeitsmaterial des ZfK Rossendorf. August 1986.
[12] Klebau, J.: Beiträge zur Weiterentwicklung der neuen Automatisierungssysteme an WWER-1000, WWER-440 sowie an Kernheizkraftwerken. Arbeitsbericht RPR-15/86 des ZfK Rossendorf. msr 8764

Zu Ihrer Information! Im VEB Verlag Technik Berlin erscheinen neben der „msr" folgende Fachzeitschriften der Elektrotechnik/Elektronik und angrenzender Gebiete:
Nachrichtentechnik/Elektronik; Elektrie; radio-fernsehen-elektronik; Elektropraktiker und Mikroprozessortechnik.
Bitte nutzen Sie auch diese Informationsquellen!

H.-P. Wilfer

Meßgerät zur Bestimmung der Feuchte von mehrphasigen Stoffen

0. Einleitung

Mit dem Feuchtegehalt ändern sich die physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften fester Stoffe. So hängen z. B. im Bauwesen wichtige Kenngrößen, wie Wärme- und Schalldämmung und mechanische Festigkeit, stark von der Feuchte der Materialien ab. Die Bilder 1 und 2 zeigen eindrucksvoll die zerstörerische Wirkung von Wasser bzw. Feuchte an Bauwerken. Es ist deshalb notwendig, den Wassergehalt in festen Stoffen zu kennen bzw. über die Veränderung des Wassergehaltes über einen bestimmten Zeitraum Aussagen zu erhalten.
Um die Feuchte in gewünschter Weise zu verändern, sind Trocknungs- und Befeuchtungsprozesse notwendig, die mit geeigneten Methoden zu überwachen sind.
Für die Bestimmung des Wassergehaltes von Feststoffen lassen sich keine allgemeingültigen Verfahren angeben.
Zur Untersuchung wasserhaltiger Stoffe werden veränderte Eigenschaften des feuchten Materials gemessen, die zumeist von verschiedenen Einflüssen abhängen.

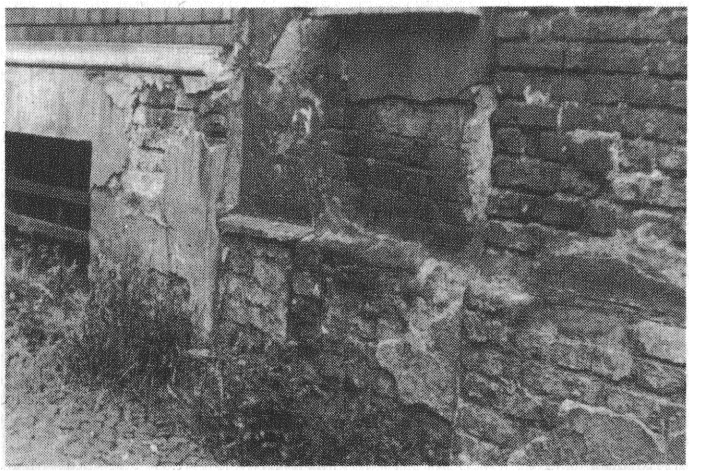


Bild 1. Feuchteschäden an einem Wohngebäude im Stadtkern von Wismar

1. Stand der Feuchtemeßtechnik

Allgemein werden bei der Feuchtemessung direkte und indirekte Meßverfahren unterschieden [1] und [2]. Bei den direkten Meßverfahren wird die Menge des sich im Stoff befindlichen Wassers direkt bestimmt. Das verbreitetste Meßverfahren dazu ist das Wäge-Trocknungsverfahren, bei dem eine Probe des Stoffes entnommen und im feuchten Zustand gewogen wird. Anschließend wird die Probe getrocknet, bis keine Gewichtsveränderung mehr auftritt, und mit einer zweiten Wägung der Masseverlust bestimmt. Dieses Verfahren hat jedoch Nachteile. Eine Probennahme ist nicht immer zweckmäßig bzw. möglich. Auch kann bei der Probenentnahme oder -verarbeitung Wasser verdunsten, wodurch das Ergebnis verfälscht wird. Das Wäge-Trocknungsverfahren ist ein empirisches Verfahren, mit dem nicht der wahre Wert der Feuchte, sondern eine Größe bestimmt wird, die dieser mehr oder weniger nahe kommt.
Weitere Verfahren zur direkten Feuchtebestimmung von Feststoffen sind u. a. das Kalziumkarbidverfahren und das Karl-Fischer-Verfahren. Beide basieren auf der chemischen Umsetzung des Wassers. Für diese Verfahren sind ebenfalls Probeentnahmen notwendig. Es ergeben sich ähnliche Nachteile wie beim Wäge-Trocknungsverfahren. Von Vorteil sind die Universalität der Methode und die Durchführung der erforderlichen Reaktionen bei Raumtemperatur.
Bei den indirekten Verfahren wird eine physikalische Größe des feuchten Stoffes gemessen, die mit der Feuchte in einem funktionellen Zusammenhang steht und für die Messung und weitere Umformung des Meßsignals vorteilhaft ist. Unterschieden werden dabei elektrische Verfahren, bei denen eine elektrische Größe gemessen wird, und nichtelektrische, bei denen nichtelektrische Stoffeigenschaften gemessen werden.
Zu den elektrischen Meßverfahren gehören das Leitfähigkeitsverfahren und das dielektrische Meßverfahren.
Beim Leitfähigkeitsverfahren wird die Eigenschaft ausgenutzt, daß sich der Widerstand eines Stoffes mit zunehmender Feuchte verringert. Dieser Vorgang beruht auf der Leitfähigkeit des reinen Wassers und den durch starke dissoziierende Wirkung frei gewordenen Ionen. Beim dielektrischen Meßverfahren wird von der vom Wassergehalt abhängigen Dielektrizitätskonstante und dem Verlustwinkel ausgegangen. Für die Stärke der Abhängigkeit spielt die verwendete Frequenz eine entscheidende Rolle. Über diese Verfahren wurde bereits mehrfach berichtet [2] und [3].
Zu den nichtelektrischen Verfahren gehören u. a. kernphysikalische Verfahren, die Ausnutzung der magnetischen Kernresonanz sowie optische, thermische und akustische Feuchtemeßverfahren. Bei den kernphysikalischen Verfahren wird die Wechselwirkung der Kernstrahlung (Gamma-, Beta- und Neutronenstrahlung) mit feuchten Stoffen genutzt.
Die magnetische Kernresonanz beruht auf der Resonanzabsorption von Hochfrequenzenergie durch die Wasserstoffatomkerne (Protonen) in einem starken äußeren Magnetfeld.
Optische Feuchtemeßverfahren haben eine geringe Bedeutung, da sie auf der Grundlage der Lichtabsorption, die von der Feuchte abhängig ist, arbeiten [5] und [6].
Thermische und akustische Verfahren beruhen auf der Abhängigkeit der Wärme- und Schalleitung vom Feuchtegehalt des Stoffes.
Zur Einschätzung der Meßverfahren ist es wichtig zu wissen, daß die meisten indirekten physikalischen Feuchtemeßverfahren nach dem Wäge-Trocknungsverfahren kalibriert werden. Im weiteren soll das akustische Verfahren betrachtet werden.

2. Physikalische Grundlagen des Meßverfahrens

Das vorgestellte Meßverfahren basiert auf der Wechselwirkung von akustischen Wellen im Hörbereich mit einem mehrphasigen porösen Medium.

Bild 2. Feuchteschäden durch aufsteigende Nässe an den Römischen Bädern der Staatlichen Schlösser und Gärten Potsdam-Sanssouci

Dr. rer. nat. HANS-PETER WILFER (39) studierte von 1967 bis 1971 Physik an der Universität Rostock, danach bis 1976 dort Forschungsstudent und Mitarbeiter. 1976 Promotion A auf dem Gebiet der theoretischen Physik. Seit 1976 an der IHS Wismar, Abt. Mathematik/Naturwissenschaften, tätig, jetzt dort Oberassistent.

Unter Schall versteht man mechanische Schwingungen.
Erfolgen die Schwingungen in festen Körpern, so spricht man von Körperschall. Wichtigste Meßgrößen des Schalls sind der Schalldruck p und die Schallschnelle v. Der Schalldruck ist eine skalare Größe, die Schallschnelle jedoch eine gerichtete (vektorielle) Größe. Da beide Größen komplex sind, ist es möglich, sie in Zeigerschreibweise anzugeben [4]:

$$p(t) = \mathrm{Re}\,[\hat{p} \cdot e^{j\omega t}]; \qquad v(t) = \mathrm{Re}\,[\hat{v} \cdot e^{j\omega t}]. \tag{1}$$

Das Schallverhalten von festen Stoffen läßt sich gut über die spezifische Schallimpendanz Z_a beschreiben, die definiert ist als

$$Z_a = \frac{\hat{p}}{\hat{v}}. \tag{2}$$

Bei einer näherungsweise ebenen Schallausbreitung nimmt die spezifische Schallimpendanz Z_a die einfache Form

$$Z_a = \frac{\varrho \cdot c}{\cos \vartheta}$$

ϱ Dichte des Mediums; c Schallausbreitungsgeschwindigkeit; ϑ Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung und interessierender Schallwellenrichtung

an.
Da in festen Körpern mehrere Feldgrößen eine Rolle spielen, treten auch mehrere Impedanzen auf. Die wichtigsten sind die Kraftimpedanz

$$Z_F = \frac{\hat{F}}{\hat{v}}$$

und die Momentimpedanz

$$Z_M = \frac{\hat{M}}{\hat{\omega}}$$

(vgl. [4] u. a.).
Angeregt durch den Wechseldruck einer Schallwelle oszilliert das Fluid in den Poren. Durch die Strömung in den Poren entstehen viskose Reibungskräfte, durch Umlenkungen und Verengungen bzw. Erweiterungen im porösen Medium treten Impulsverluste auf. Bild 3 zeigt die Porenstruktur von Ziegelmaterial MZ 350, aufgenommen mit einem Rasterelektronenmikroskop. Im Wechselfeld der Schallwelle wird die Luft abwechselnd komprimiert und dilatiert. Der gute Wärmekontakt zum Stoff führt vor allem bei tiefen Frequenzen zu einem intensiven Wärmeaustausch und somit zur Energieabgabe. Weiterhin treten Schallabsorptionen durch elastische Schwingungen des Skeletts des porösen Körpers auf, was sich bei tiefen Frequenzen intensiver bemerkbar macht. Wird nun ein poröser Stoff vom Wasser durchdrungen, so steigt in den Poren das Wasser auf und die Luft wird teilweise verdrängt.
Da für die weitere Betrachtung hauptsächlich der senkrechte Schalleinfall interessiert, läßt sich der Absorptionsgrad α relativ einfach darstellen als

$$\alpha = \frac{4\,\mathrm{Re}\,\{Z_1\} \cdot \varrho_0 c_0}{[\mathrm{Re}\,\{Z_1\} + \varrho_0 c_0]^2 + \mathrm{Im}\,\{Z_1\}^2} \tag{3}$$

c_0 Schallgeschwindigkeit im ungestörten Medium; ϱ_0 Dichte

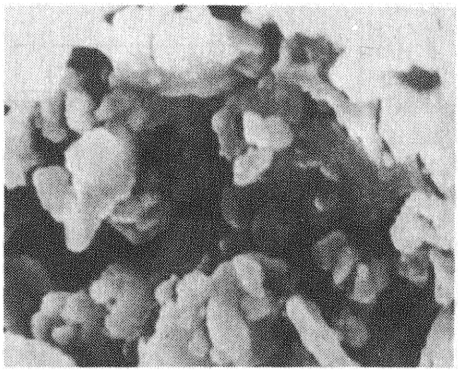
(vgl. [4] und [7]).
Dabei ist Z_1 die Schallimpedanz des bestrahlten Körpers und wird bestimmt durch

$$Z_1 = Z_a \cdot \coth \gamma d. \tag{4}$$

d Wanddicke
Die Absorptionskonstante γ und der Wellenwiderstand Z_a des porösen Absorbers sind abhängig von der komplexen Dichte ϱ_{eff} und dem komplexen Kompressionsmodul k_{eff}

$$\gamma = j\omega \sqrt{\frac{\varrho_{eff}}{k_{eff}}}, \tag{5}$$

Bild 3. Aufnahme der Porenverteilung von Ziegelmaterial MZ 350 mit dem Rasterelektronenmikroskop



$$Z_a = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\varrho_{eff} \cdot k_{eff}}. \tag{6}$$

σ ist dabei ein Kennwert des porösen Absorbers und ergibt sich aus der Beziehung

$$\sigma = 1 - \frac{\varrho_A}{\varrho_G}. \tag{7}$$

ϱ_A Dichte des porösen Mediums; ϱ_G Dichte des Materials

Um die akustische Impendanz zu bestimmen, ist es notwendig, einen Schalldruck p auf den zu untersuchenden Stoff auszuüben und den vom Körper absorbierten Schall zu messen. Über die Amplitude ξ kann man das Verhältnis der absorbierten Energiedichte zur abgegebenen Energiedichte ermitteln. Es ergibt sich dann für den Absorptionskoeffizienten

$$\alpha = \frac{\varrho_1 \cdot \xi_1^2}{\varrho_0 \cdot \xi_0^2}, \tag{8}$$

Index 1 Werte des Materials, Index 0 Wert der Luft

da die Energiedichte durch

$$\bar{\varrho}_E = 2\varrho\pi^2 \cdot \nu^2 \cdot \xi^2$$

definiert ist und sich die Frequenz beim Übergang von Luft auf das Material nicht ändert.
Jedoch tritt bei diesem Übergang ein Phasenwinkel φ zwischen den auftreffenden Schallwellen und dem Schall, der vom Material absorbiert wird, auf.
Über die Beziehung

$$\alpha = 1 - |R|^2$$

erhält man den Betrag des Reflektionsfaktors R. Die spezifische Schallimpedanz ergibt sich dann aus

$$Z_a = \varrho \cdot c \cdot \frac{1 - |R|^2 + 2j\,|R| \sin \varphi}{1 + |R|^2 - 2j\,|R| \cos \varphi}. \tag{9}$$

3. Meßprinzip und Meßgerät

Das neuentwickelte Gerät arbeitet nach einem Meßverfahren, das die spezifische Schallimpedanz von mehrphasigen Stoffen bei Feuchtigkeitseinfluß anzeigt. Die spezifische Schallimpedanz für den zu untersuchenden porösen Stoff ist stark vom Feuchtegehalt abhängig.

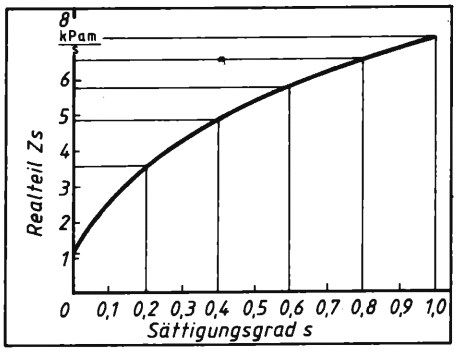


Bild 4. Realteil der Schallimpedanz als Funktion des Feuchtegehaltes
Ziegelmaterial MZ 350, kreisförmige Poren; Meßfrequenz 1000 Hz

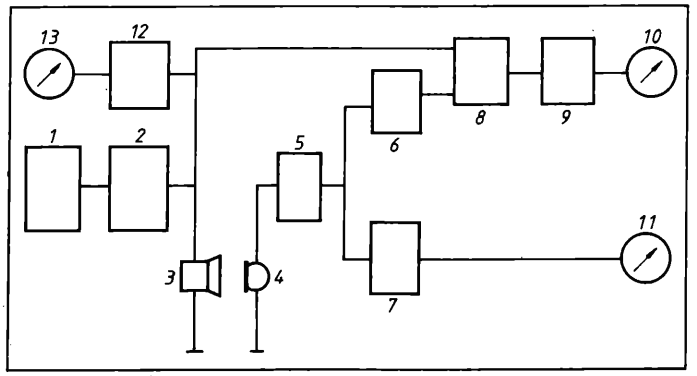


Bild 5. Blockschaltschema zum Meßprinzip
1 Sinusgenerator; 2 Leistungsverstärker; 3 Schallgeber; 4 Schallaufnehmer; 5 Vorverstärker; 6 Dynamikbegrenzer; 7 Lineargleichrichter; 8 Multiplizierer; 9 Tiefpaß; 10 Phasenanzeige; 11 Amplitudenanzeige; 12 Frequenzmesser; Frequenzanzeige

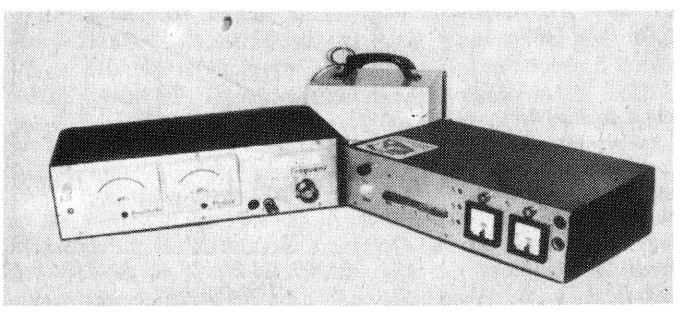
Feuchtezunahme führt zu einer Vergrößerung, Feuchteabnahme zu einer Verringerung der spezifischen Schallimpedanz. Bild 4 zeigt den Realteil der spezifischen Schallimpedanz als Funktion des Feuchtegehaltes für Ziegelmaterial bei einer Wirkfrequenz von 1000 Hz. Der Realteil von Z_a wurde hier zur besseren Unterscheidung vom komplexen Gesamtwert mit Realteil Z_s bezeichnet. Meßgröße ist die spezifische Schallimpedanz, der komplexe Quotient aus Schalldruck und Schallschnelle, die zueinander phasenverschoben sind. Sie werden in entsprechende Spannungen umgeformt und als Meßgröße ausgewertet.
Da an der Oberfläche poröser Medien Schalldruck und Schallschnelle stetig sind, kann ein Bezug von Schalldruck und der an dem erregenden Schallgeber anliegenden Spannung hergestellt werden. Die zweite elektrische Größe muß somit einen Bezug zur Schallschnelle haben. Die Gesamtschaltung besteht aus den Hauptbaugruppen:

a) Beschallungsteil
   Sinusgenerator, Leistungsverstärker, Schallgeber (Lautsprecher)
b) Auswerteteil
   Schallaufnehmer, Vorverstärker, Dynamikbegrenzer, Multiplizierer, Tiefpaß, Meßinstrument Phase, Meßinstrument Amplitude, Lineargleichrichter, Frequenzmesser, Meßinstrument Frequenz
c) Stromversorgung
   Doppelnetzgerät 2 × 15 V, Netzgerät 5 V

Im Blockschaltschema Bild 5 ist die Zusammenschaltung der Baugruppen ersichtlich.
Ein Sinusgenerator erzeugt eine Sinusspannung mit einstellbarer Frequenz im Bereich von 20 Hz bis 15 kHz. Dieses Signal wird verstärkt und dem Schallgeber zugeführt. Die Spannungen am Schallgeber und am Schallaufnehmer werden auf einen maximalen Amplitudenwert verstärkt. Die verstärkten Spannungen werden kapazitiv an den Multiplizierer gekoppelt, der durch den nachgeschalteten Tiefpaß als Phasendetektor wirkt. Werden an einen Eingang des Multiplizierers die vom Schallgeber herrührende Spannung

$$U = U_1 \cdot \cos \omega t$$

Bild 6. Zwei Ausführungen der entwickelten Meßgeräte



und an den anderen die Spannung vom Schallaufnehmer

$$U = U_2 \cos(\omega t + \varphi)$$

angelegt, so erhält man als Ausgangsspannung des Multiplizierers

$$U_a = KU_1U_2(\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)) .$$

Diese Spannung setzt sich aus einem Wechselanteil doppelter Frequenz und einem Gleichanteil, der von der Phase und den Signalamplituden abhängig ist, zusammen. Nach einer Tiefpaßfilterung kann der Gleichanteil zur Phasenmessung genutzt werden.
Der Meßaufbau zur Bestimmung der feuchteabhängigen spezifischen Schallimpedanz mehrphasiger Medien besteht aus zwei Baugruppen, dem eigentlichen Meßgerät, bestehend aus Beschallungsteil, Auswerteteil und Stromversorgung, sowie dem Fühler, der den Schallgeber und -aufnehmer enthält. Der Fühler ist so konstruiert, daß eine direkte Übertragung der Schwingungen vom Schallgeber zum -aufnehmer auf ein Minimum beschränkt wird, was durch „frei schwebende" Lagerung des Schallgebers im Fühlergehäuse mit einer Dämmschicht aus Schaumstoff realisiert wird. Ein stets gleicher Andruck des Schallaufnehmers an den Meßkörper wird durch eine federnde Installation erreicht. Bild 6 zeigt zwei Ausführungen der entwickelten Meßgeräte.

Schlußbemerkungen

Das vorgestellte Meßverfahren zeichnet sich durch eine hohe Meßgeschwindigkeit und Empfindlichkeit sowie durch einen großen Meßbereich aus. Die zerstörungsfreie Messung hat entscheidende Vorteile gegenüber der verbreiteten und aufwendigen Standardmethode bei Probenentnahme von Baustoffen.
Zu den allgemeinen Anwendungsmöglichkeiten des Meßverfahrens gehören:

— Überwachung von Austrocknungs- und Durchfeuchtungsvorgängen im Mauerwerk
— Langzeituntersuchungen an nässegeschädigten Wohnobjekten
— Überprüfung der Wirkungsweise von eingebauten Dämmanlagen
— Umfang und Verteilung der Mauernässe
— Einsatz und Kontrolle von Sanierungsmaßnahmen.

Literatur

[1] Berliner, M. A.: Feuchtemeßtechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[2] Autorenkollektiv: Feuchtemeßtechnik. Wiss. Beiträge der IH Wismar, Sonderheft (1981) 2.
[3] Hengstenberg, J.; Sturm, B.; Winkler, O.: Messen, Steuern und Regeln in der chemischen Technik. Bd. I bis III. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1980.
[4] Heckel, M.; Müller, H. A.: Handbuch der Akustik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1983.
[5] Eder, F. X.: Moderne Meßmethoden der Physik. Teil I bis III. Berlin: VEB Verlag Technik 1972
[6] Götte, K.: Feuchtemeßtechnik, Berlin: VEB Verlag Technik 1966.
[7] Meyer, E.; Neumann, E. G.: Physikalische und Technische Akustik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1979.
[8] Wilfer, H.-P.: Beitrag zur Materialfeuchtemessung durch mechanische Wellen im Hörschallbereich. Feuchtemeßtechnik, Wiss. Beiträge der IH Wismar (1982) 2.

msr 8676

A. Hebestreit, J. Wolf

Messung der Wasserdampftaupunkttemperatur in Hochdruckgasleitungen

0. Einleitung

Zur sicheren Versorgung von Bevölkerung und Industrie mit dem Energieträger Gas ist der meßtechnische Nachweis der Wasserdampftaupunkttemperatur (Taupunkt) unter Hochdruckbedingungen im Gasfortleitungs- und Gasspeichersystem wesentlich. Unterschreitet die Gastemperatur den Taupunkt, kommt es zum Niederschlag freien Wassers in der Gasleitung. Das Vorhandensein von Wasser begünstigt aber die Gashydratbildung, die Innenkorrosion sowie die Ablagerung von Fremdstoffen. Unterbrechungen der Gaslieferung können die Folge sein. Eine zuverlässige Wasserdampftaupunktmessung stellt die Grundlage für die Einleitung von Gegenmaßnahmen wie Trocknung und Methanolzugabe dar.

1. Meßtechnische Probleme

Eine direkte Messung des Taupunktes mittels Tauspiegelhygrometer führt zu unzuverlässigen Ergebnissen, wenn Staubpartikel die Spiegeloberfläche verschmutzen oder höhersiedende Kohlenwasserstoffe bei niedrigem Wasserdampftaupunkt auf der Spiegeloberfläche kondensieren.
Werden thermodynamische Änderungen zwischen Gasentnahme- und Meßort nicht beachtet, entstehen erhebliche Meßfehler.
Eine In-situ-Messung vermeidet Probenahmefehler. Die häufig eingesetzten, auf dem Absorptionsprinzip beruhenden, indirekten Taupunktmeßverfahren versagen jedoch in Sättigungsnähe (z. B. Aluminiumoxidsensoren; maximale relative Feuchte 50%). Bei der Anwendung indirekter Verfahren ist eine einfache Zuordnung von absoluter Feuchte bzw. Wasserdampfpartialdruck zum Taupunkt nicht möglich. Vielmehr muß eine Umwertung in den Taupunkt unter Beachtung des realen Verhaltens aller Komponenten erfolgen.
Bei der Umrechnung entstehen durch Unzulänglichkeiten des thermodynamischen Modells Zusatzfehler, die bisher keine Beachtung fanden.

2. Lösungen zur indirekten Taupunktmessung

2.1. Sensorelement und System

Zur indirekten Taupunktmessung können Sensoren zur Erfassung der absoluten Feuchte genutzt werden. Deren Größe gestattet meist eine In-situ-Messung und damit die Vermeidung von Zustandsänderungen zwischen Entnahme- und Meßort.
Bei der Verwendung des LiCl-Taupunktsensors treten bei hohen Drücken durch die notwendige Umrechnung der Gleichgewichtstemperatur der Salzlösung in den Wasserdampfpartialdruck zusätzliche Fehler auf. Deshalb sind vorzugsweise Keramik- und Dünnfilmsensoren einzusetzen, die durch die Ad- bzw. Absorption von Wassermolekülen ihre elektrischen Eigenschaften (Ohmscher Widerstand, Kapazität oder Resonanzfrequenz) direkt als Funktion der absoluten Feuchte bzw. des Wasserdampfpartialdruckes ändern. Die absolute Feuchte muß unter Nutzung weiterer Meßgrößen, wie Druck und Temperatur, in den Taupunkt umgewertet werden.

2.2. Umwertung der absoluten Gasfeuchte in den Taupunkt

Umwerteverfahren zur Berechnung der Taupunkttemperatur (in °C) auf Basis der gemessenen absoluten Feuchte (in g/m³ im Betriebszustand) müssen folgendes berücksichtigen:

- allgemeine Zustandsänderungen der Gase
- Realverhalten von Wasserdampf und Gasgemisch
- Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Gasmolekülen und deren Einfluß auf eine Sättigungsdampfdruckerhöhung und damit Taupunkterniedrigung.

Das Umwerteverfahren geht von der Gleichgewichtsbedingung

$$e' = e'_w \tag{1}$$

aus. Der Taupunkt liegt vor, wenn der Dampfdruck des feuchten Gases e' gleich dem Wasserdampfsättigungsdruck des feuchten Gases e'_w ist. Der Dampfdruck des feuchten Gases ergibt sich für isobare Zustandsänderungen aus

$$e' = d_v R_v T_m Z_{gv}(p, T_m)\,. \tag{2}$$

d_v absolute Feuchte im Zustand p, T_m in g/m³ im Betriebszustand; R_v Gaskonstante von Wasserdampf (0,461 52 Nm/gK); T_m Temperatur, bei der die absolute Feuchte gemessen wird, in K; Z_{gv} Realgasfaktor des feuchten Gases; p Druck in MPa

Der Wasserdampfsättigungsdruck des feuchten Gases berechnet sich zu

$$e'_w = e_w f_w(p, T_{dg})\,. \tag{3}$$

e_w Sättigungsdampfdruck über Wasser in reiner Phase; f_w Korrekturfaktor für Wasser; T_{dg} Wasserdampftaupunkt in K

Für den Sättigungsdampfdruck in reiner Phase gilt nach [1] die Temperaturfunktion

$$e_w = \exp\left(a_{w1} T_{dg}^{-1} + a_{w2} + a_{w3} T_{dg} + a_{w4} T_{dg}^2 + a_{w5} \ln T_{dg}\right) \tag{4}$$

$a_{w1} = -6{,}0944642 \cdot 10^3$ K; $a_{w2} = 21{,}1249952$;
$a_{w3} = -27{,}245552 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$; $a_{w4} = 16{,}853396 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-2}$;
$a_{w5} = 2{,}457556$

Der Korrekturfaktor f_w, der die Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Gasmolekülen berücksichtigt, läßt sich durch

$$f_w = g T_{dg}^h p + 1 \tag{5}$$

g, h gasspezifische Konstanten (siehe Tafel)

als Funktion von Druck und Temperatur beschreiben.
Enthält das Gasgemisch die Komponente Kohlendioxid, ist wegen der Ausbildung von Wasserstoffbrücken bei der Berechnung des Korrekturfaktors f_w zusätzlich der Kohlendioxidanteil n_{CO_2} zu berücksichtigen:

$$f_w = \left[c_1 \cdot \exp(d_1 t_{dg}) n_{CO_2} + g T_{dg}^h\right] p + 1 + c_2 \cdot \exp(d_2 t_{dg}) n_{CO_2}\,. \tag{6}$$

$c_1 = 1{,}7$; $d_1 = -0{,}0478$; $c_2 = 74$; $d_2 = -0{,}0795$; t_{dg} Wasserdampftaupunkt in °C

Tafel. Gasspezifische Konstanten

Stadtgas	Erdgas A	Erdgas C
$g = 4{,}92 \cdot 10^6$ $h = -3{,}3$	$g = 7{,}13 \cdot 10^{10}$ $h = -4{,}89$	$g = 6{,}75 \cdot 10^7$ $h = -3{,}73$

Dipl.-Ing. Andreas Hebestreit (30) studierte nach einer Ausbildung zum Facharbeiter für BMSR-Technik von 1979 bis 1983 an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. Seither dort wissenschaftlicher Assistent im Wissenschaftsbereich Informationstechnik, Lehrstuhl Meßtechnik.
Dr.-Ing. Johannes Wolf (36) studierte nach einer BMSR-Technik-Facharbeiterausbildung von 1971 bis 1975 an der Sektion Automatisierungsanlagen der Ingenieurhochschule (später TH) Leipzig. Von 1975 bis 1978 Forschungsstudent an der gleichen Sektion. 1979 Promotion A. Seit 1978 im VEB Verbundnetz Gas Böhlitz-Ehrenberg, jetzt als Abteilungsleiter Prozeßautomatisierung. 1979/80 postgraduales Studium mit Fachabschluß für Untergrundspeichertechnik an der Bergakademie Freiberg.

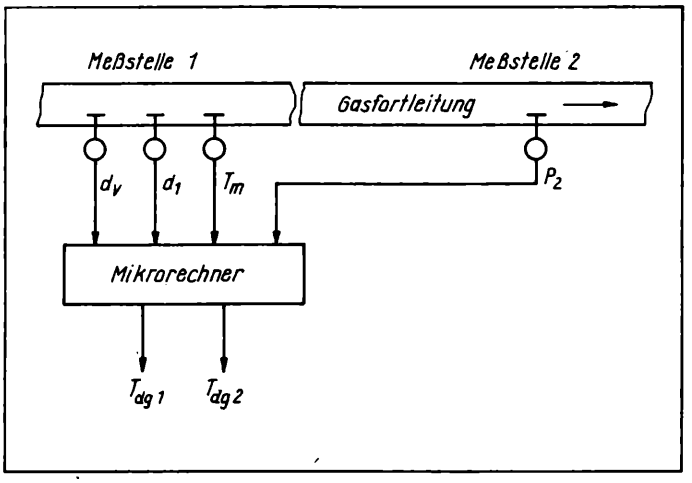


Bild 1. Anordnung für die Taupunktbestimmung in Sättigungsnähe

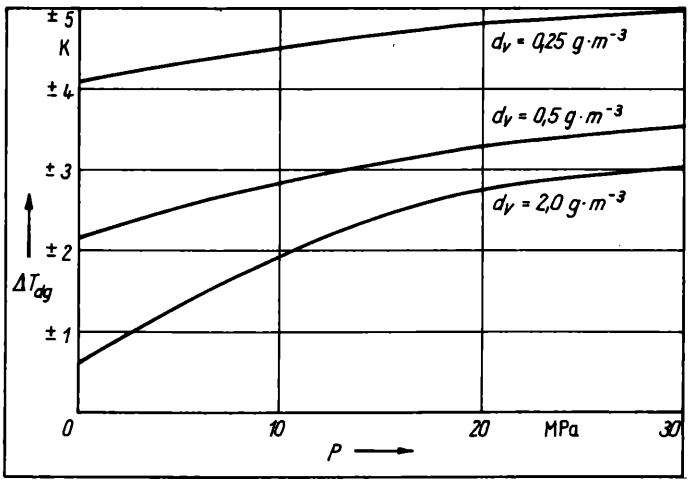


Bild 2. Taupunktfehler in Abhängigkeit von absoluter Feuchte und Druck bei einer Meßtemperatur von 10 °C

(6) sollte von einem Betriebsdruck von etwa 5 MPa ab anstelle von (5) verwendet werden [2]. Alle Konstanten wurden empirisch ermittelt.

Aus der Zusammenfassung von (1) bis (5) bzw. (6) ergeben sich

$$f(T_{dg}) = e' - e'_w\,, \tag{7}$$

$$f(T_{dg}) = d_v R_v T_m Z_{gv}(p, T_m) - (gT^h_{dg}p + 1) \cdot \exp\,(a_{w1}T^{-1}_{dg} + a_{w2} + a_{w3}T_{dg} + a_{w4}T^2_{dg} + a_{w5} \ln T_{dg}) \tag{8}$$

bzw. für kohlendioxidhaltige Gasgemische bei entsprechenden Betriebsbedingungen:

$$f(T_{dg}) = d_v R_v T_m Z_{gv}(p, T_m) - \{[c_1 \cdot \exp\,(d_1 t_{dg})\, n_{CO_2} + gT^h_{dg}] \times p + 1 + c_2 \cdot \exp\,(d_2 t_{dg})\, n_{CO_2}\} \cdot \exp\,(a_{w1}T^{-1}_{dg} + a_{w2} + a_{w3}T_{dg} + a_{w4}T^2_{dg} + a_{w5} \ln T_{dg})\,. \tag{9}$$

(8) bzw. (9) können mit dem Newtonschen Näherungsverfahren

$$T_{dg(n+1)} = T_{dg(n)} - \frac{f(T_{dg(n)})}{f'(T_{dg(n)})} \tag{10}$$

iterativ zur Umwertung der absoluten Feuchte in den Taupunkt gelöst werden.

Der Realgasfaktor Z_{gv} für das feuchte Gasgemisch wird mit der Redlich-Kwong-Beziehung berechnet. Die Konstanten K_1 und K_2 sind aus der Gaszusammensetzung und den kritischen Drücken und Temperaturen der Komponenten zu berechnen:

$$K_1 = \left(\sum_{i=1}^{n} X_i \left(\frac{0{,}4278}{P_{Ki}} T^{2{,}5}_{Ki}\right)^{0{,}5}\right)^2 \tag{11}$$

$$K_2 = \sum_{i=1}^{n} X_i \frac{0{,}0867}{P_{Ki}} T_{Ki}\,. \tag{12}$$

T_{Ki} kritische Temperatur, P_{Ki} kritischer Druck, X_i Molanteil, jeweils der Gaskomponente i

Der Realgasfaktor ergibt sich dann aus

$$Z_{gv(n+1)} = Z_{gv(n)} - \frac{Z^3_{gv(n)} - Z^2_{gv(n)} - CZ_{gv(n)} - D}{3Z^2_{gv(n)} - 2Z_{gv(n)} - C} \tag{13}$$

mit

$$D = AB\,,$$

$$C = B^2 + B - A\,,$$

$$B = K_2 p T_m^{-1}\,,$$

$$A = K_1 p T_m^{-2{,}5}\,.$$

Die iterative Lösung von (10) und (13) erfolgt im Mikrorechner, der aus den Eingangsgrößen Betriebsdruck p, Betriebstemperatur T_m, absolute Feuchte d_v und gegebenenfalls auch aus dem Kohlendioxidanteil den Taupunkt T_{dg} ermittelt.

2.3. Taupunktbestimmung am Sättigungspunkt

Zur Vermeidung von Störungen bei der Gasfortleitung z. B. durch Hydratbildung wird ein besonders zuverlässiges Meßergebnis dann benötigt, wenn der Taupunkt in der Nähe der Gastemperatur liegt. Die Funktionstüchtigkeit von Sensoren, deren Prinzip auf der Absorption von Wasserdampf beruht, ist aber nur gegeben, wenn ein Taupunkttemperaturabstand von mindestens 10 K besteht.

Mit der im Bild 1 dargestellten Konfiguration wird eine Taupunktbestimmung selbst bei Sättigung möglich. Es muß am Feuchtemeßort 1 ein Taupunkttemperaturabstand von 10 K gewährleistet werden.

Wenn die Stoffmengenanteile (z. B. keine Feuchtequelle) an beiden Meßorten gleich sind, kann durch die zusätzliche Druckmessung der Taupunkt am Meßort 2 nach

$$f(T_{dg2}) = d_v R_v T_m Z(p_1, T_m)\ \frac{p_2}{p_1} - [gT^h_{dg2}p_2 + 1]\, e_w(T_{dg2}) \tag{14}$$

ermittelt werden. (14) kann ebenfalls mit dem Newtonschen Näherungsverfahren iterativ in einem Mikrorechner gelöst werden [3].

Mit einer Feuchtemeßstelle am Meßort 1 können damit Taupunktwerte für die Meßstellen 1 und 2 berechnet werden, wobei am Meßort 2 auch Sättigung erreicht werden darf.

2.4. Umwertefehler

Die in den Abschnitten 2.2. und 2.3. beschriebenen Umwerteverfahren berechnen aus den Größen absolute Feuchte, Druck, Gastemperatur und Kohlendioxidanteil den Taupunkt. Damit wirkt sich neben den Einzelfehlern der Eingangsgrößen der Fehler des Umwerteverfahrens auf die Meßunsicherheit des Taupunktes aus. Der Taupunktfehler sollte daher in einem Mikrorechner nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnet und mit dem Taupunkt zur Anzeige gebracht werden [4].

Die erreichbaren Taupunktfehler sind für kohlendioxidfreie Gase im Bild 2 für ausgewählte Feuchten als Funktion des Betriebsdruckes dargestellt. Bei der Fehlerrechnung wurden die Einzelfehler

- Feuchtefehler 0,1 g/m³
- Temperaturfehler 1 K
- Druckfehler 5%

berücksichtigt.

Zusammenfassung

Zur Bestimmung der Wasserdampftaupunkttemperatur von Gasen unter Hochdruckbedingungen aus der in-situ-gemessenen absoluten Feuchte sind Umwerteverfahren erforderlich, die zweckmäßig auf einem Mikrorechner implementiert werden. Der Rechner signalisiert kritische Betriebszustände und kann erforderliche Gegenmaß-

(Fortsetzung auf Seite 405)

N. Gärtner, H. Gatzmanga

Untersuchung zur Bestimmung des Übertragungsverhaltens von nichtdispersiven Infrarot-Prozeßanalysatoren[1)]

0. Einleitung

Die Untersuchung des Übertragungsverhaltens von NDIR-Gasanalysatoren mit thermischen Breitbandstrahlern und optopneumatischen Detektoren zeigt, daß nur partielle Änderungen mit dem konventionellen Bauelementesortiment zu erwarten sind.
Als Konsequenz aus dem Erreichen technisch-technologischer Grenzwerte ergibt sich die Notwendigkeit, schwerpunktmäßig einen Übergang zu neuen Verfahren der Absorptionsmessung zu finden. Das Ziel des Beitrages ist es, die Eigenschaften alternativer Bauelemente aufzuzeigen, sowie die Übertragungsfunktion und das Zeitverhalten damit realisierbarer Analysatoren zu untersuchen.

1. Nutzbare thermische Effekte

Nichtlineare Einflüsse jeder Art engen die Universalität der Analysatoren ein, da ein durch Änderung des Übertragungsfaktors bedingter Meßbereichswechsel nur begrenzt oder gar nicht möglich ist. Neben dem Meßbereichswechsel sind Wartungarmut und Zuverlässigkeit entscheidende gebrauchswertbestimmende Faktoren für den Einsatz von absorptionsoptischen Analysatoren. Wartungsarmut und Zuverlässigkeit werden vorrangig durch die Zeit bestimmt, in der Analysatoren die Fehlerklasse ohne Neujustage nicht überschreiten. Das Problem der Gestaltung wartungsarmer zuverlässiger Meßverfahren besteht daher in der Erzeugung einer Kennfunktion, die bei der Konzentration $c \rightarrow 0$ ein langzeitstabiles Ausgangssignal $x_a \rightarrow 0$ liefert, das mit geringer Krummlinigkeit behaftet ist.
Aus diesen Gegebenheiten heraus besteht die Aufgabe, die Schwachstellen konventioneller Analysatoren

— Intensitätswandlung
— Erreichen monochromatischer Strahlung

konzeptionell anders zu lösen. Für die Ablösung der optopneumatischen Detektoren kommen thermische Breitbanddetektoren in Betracht (Tafel).

Tafel. In thermischen Festkörperdetektoren genutzte physikalische Effekte

Effekt	Wirkungsweise	Detektortyp
Pyroelektrischer bzw. pyromagnetischer Effekt	Änderung des elektrischen bzw. magnetischen Polarisationszustandes	Pyrodetektor
Bolometereffekt	Änderung des Materialwiderstandes	Metallbolometer Halbleiterbolometer Supraleitungsbolometer
Thermoelektrischer SEEBECK-Effekt	Auftreten einer äußeren Spannung	Thermoelement Thermosäule
Optisch induzierter ETTINGHAUS-NERNST-Effekt	Auftreten einer Spannung unter Einwirkung eines Wärmestromes in einem Magnetfeld	OEN-Detektor
Thermooptischer Effekt	Änderung der optischen Eigenschaften von Molekülen	Chemolumineszenzdetektor Flüssigkristalldetektor

Mit der Einführung derartiger Detektoren, die als graue Empfänger arbeiten und die über einen weiten Spektralbereich empfindlich sind, ist es erforderlich, Selektivierungsmittel für die jeweils zu lösende Meßaufgabe anzupassen.
Im weiteren werden nur Interferenzfilter und Gasfilter betrachtet, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den konventionellen Analysatoren zu gewährleisten.

2. Statik und Dynamik thermischer Breitbanddetektoren

Die bei einem thermischen Breitbanddetektor ausgenutzte Temperaturdifferenz des strahlungsempfindlichen Elements hängt von der Größe des absorbierten Strahlungsflusses ab, dessen spektrale Verteilung keinen Einfluß auf die Temperaturänderung hat. Aus den Temperaturdifferenzen werden durch die zugrunde liegenden physikalischen Effekte (Tafel) elektrische Signale gewonnen. Davon ausgehend ist das Verhalten der thermischen Festkörperdetektoren in den Stufen

— thermische Verhältnisse
— thermisch-elektrischer Wandler
— elektrisches Netzwerk

modellierbar.

Dr.-Ing. NORBERT GÄRTNER (34) studierte von 1974 bis 1979 Mathematik an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Seit 1979 im VEB Junkalor Dessau tätig, jetzt als Gruppenleiter in F/E. 1985 Promotion A an der Ingenieurhochschule Köthen.
Prof. Dr. sc. techn. HEINZ GATZMANGA (51) erlernte den Beruf eines Chemiefacharbeiters. Von 1956 bis 1959 Studium an der Ingenieurschule für Chemie in Köthen. Ab 1960 Dozent für Meß- und Regelungstechnik, ab 1966 Leiter der Fachrichtung Chemische Technologie an dieser Ingenieurschule. 1968 Promotion A an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 1969 Berufung zum Dozenten für Prozeßmeßtechnik an der Ingenieurhochschule Köthen. 1975 Promotion B an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Von 1973 bis 1981 Tätigkeit im VEB Junkalor Dessau, u. a. ab 1975 als Direktor für Wissenschaft und Technik. 1981 Berufung zum o. Professor für Automatisierungstechnik an der Ingenieurhochschule Köthen. Dort jetzt Leiter des gleichnamigen Wissenschaftsbereiches.

[1)] Der Beitrag stellt eine Fortführung und Weiterentwicklung der Thematik von msr, Berlin 30 (1987) 3, S. 106—109, dar.

(Fortsetzung von Seite 404)

nahmen (z. B. Berechnung der einzubringenden Methanolmenge zur Hydratvermeidung, Inbetriebnahme zusätzlicher Gastrocknungsanlagen) durch die Ausgabe von Stellsignalen einleiten.

Literatur

[1] HEINZE, D.: Theoretische Grundlagen und Meßverfahren der Gasfeuchtemeßtechnik. TH Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik 1980.
[2] HEBESTREIT, A.; JÄGER, F.-M.; HÄNSEL, L.; WOLF, J.: Verfahren und Umwerteeinrichtung zur Bestimmung realer Wasserdampftaupunkte. WP G01N/294 279 2.
[3] HEBESTREIT, A.; WOLF, J.; JÄGER, F.-M.: Verfahren und Einrichtung zur Wasserdampftaupunktbestimmung. WP G01N/294 166 2.
[4] HEBESTREIT, A.; VOGLER, G.; WOLF, J.: Meßeinrichtung mit Fehlererkennung. WP G01D/294 165 4.

msr 8746

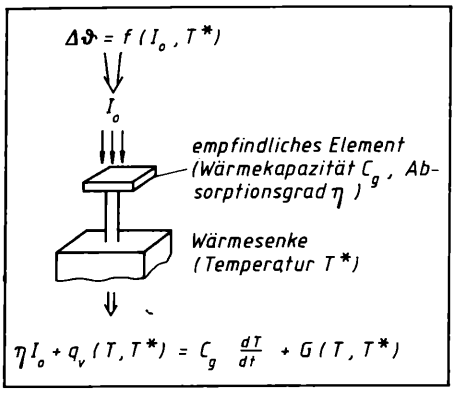


Bild 1. Schematische Darstellung der thermischen Verhältnisse in Festkörperdetektoren

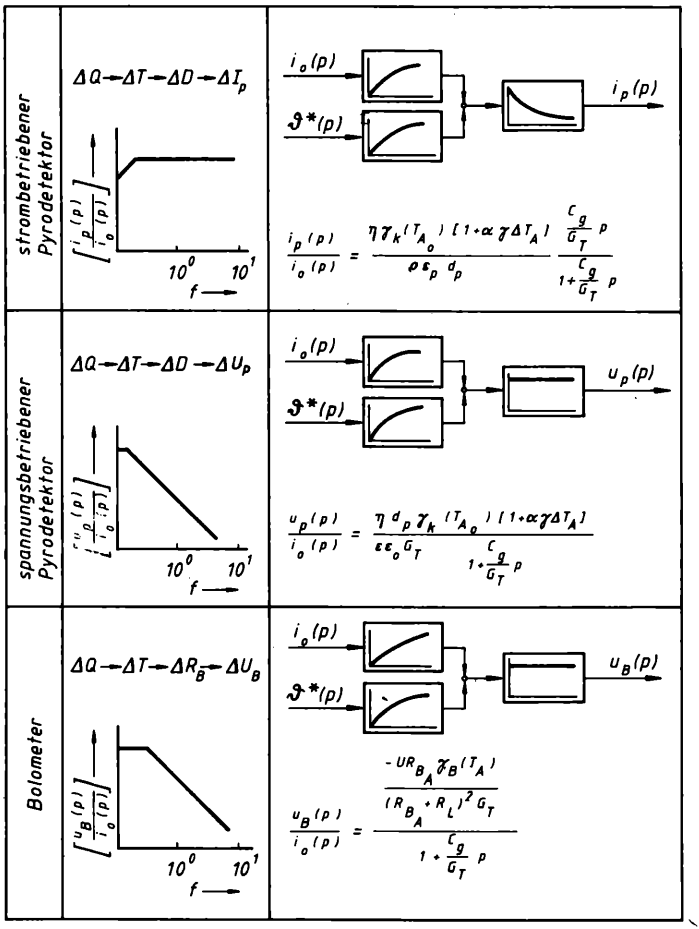


Bild 2. Übertragungsverhalten von Festkörperdetektoren

Ausgehend von dieser Unterteilung wird das Übertragungsverhalten pyroelektrischer Detektoren und Bolometer untersucht.

2.1. Beschreibung der thermischen Verhältnisse

Bei Vernachlässigung eines Temperaturgradienten im empfindlichen Material und des Einflusses der Elektroden (wegen der geringen Dicke und hohen Wärmeleitfähigkeit) sowie a priori vorausgesetzter Gleichmäßigkeit der Absorption der auftretenden Strahlung I_0 ist ein einfaches Modell der thermischen Verhältnisse ableitbar. Aus der Wärmeleitungsgleichung ergibt sich bei Berücksichtigung innerer Wärmequellen q_v als Ansatz

$$\eta I_0 + q_v(T; T^*) = C_g \frac{dT}{dt} + G(T; T^*) . \tag{1}$$

$G(T; T^*)$ beschreibt die abgegebene Wärmemenge und ist von der Konstruktion des Detektors abhängig, C_g ist die Wärmekapazität des empfindlichen Elements und η ist der Absorptionsgrad (Bild 1). Durch die getroffenen Voraussetzungen wird die Gültigkeit des sich aus (1) ergebenden Modells nicht eingeschränkt.

Für die praktisch wichtigen Spezialfälle der konstruktiven Gestaltung thermischer Breitbanddetektoren

- — empfindliches Element — Wärmetausch durch Strahlung mit der Umgebung
- — empfindliches Element auf Wärmesenke
- — empfindliches Element mit Absorptionsschwarzschicht
- — empfindliches Element — Wärmeaustausch mit der Umgebung durch laterale Wärmeleitung

stimmt die exakte Lösung im interessierenden Frequenzbereich mit dem vereinfachten Modell überein.

Die vorausgesetzte gleichmäßige Absorption der Strahlung ist durch Verwendung von Absorptionsschwarzschichten stets annähernd realisierbar.

2.2. Beschreibung des thermisch-elektrischen Wandelns

Die Wirkungsweise pyroelektrischer Detektoren basiert auf dem pyroelektrischen Effekt, der nach CURIE [1] „bei denjenigen Kristallen, die eine oder mehrere Achsen mit ungleichnamigen Enden haben, also hemidische Kristalle mit schiefen Flächen, auftritt. Diese Kristalle haben die besondere physikalische Eigenschaft, an den Enden dieser Achsen zwei elektrische Pole entgegengesetzten Vorzeichens zu verursachen, wenn sie einer Temperaturänderung unterworfen werden".

Für eine pyroelektrische Platte der Stärke $\hat{d}$, die senkrecht zur polaren Achse mit Elektroden der Fläche A versehen ist, zwischen denen ein von außen angelegtes Feld E wirkt, gilt für den Zusammenhang zwischen Verschiebevektor D, der Feldstärke E_K und der spontanen Polarisation P_S

$$D = \varepsilon\varepsilon_0 E_K + P_S . \tag{2}$$

Aus den durch Temperaturänderungen induzierten Ladungsträgeränderungen der Größe

$$dQ = A\, dD \tag{3}$$

und der elementaren Beziehung zwischen Strom und Ladung ergibt sich der bei Kurzschluß zwischen den Elektroden fließende Strom:

$$i = \varepsilon_0 (E_K \hat{d})\, \hat{d}^{-1} A \frac{d}{dt}\left(\frac{d\varepsilon}{dT} dT\right) + A \frac{d}{dt}\left(\frac{dP_S}{dT} dT\right). \tag{4}$$

Aus der Beziehung zwischen Spannung und Ladung

$$U = \frac{Q}{C'}$$

C' Kapazität

ergibt sich die durch Temperaturschwankung induzierte Spannungsschwankung zwischen den Elektroden

$$dU = E\hat{d} \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} dT + \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} \hat{d} \frac{dP_S}{dT} dT . \tag{5}$$

Unter Berücksichtigung der Arbeitspunktabhängigkeit des pyroelektrischen Koeffizienten

$$\gamma_K(T) = -\frac{dP_S}{dT}$$

$$\alpha_\gamma = \frac{d\gamma_K(T)}{dT} \gamma_K^{-1}(T)|_{T=T_{A_0}} \tag{6}$$

ist das Übertragungsverhalten pyroelektrischer Detektoren ableitbar (Bild 2).

Das natürliche Abbildungssignal ist anzuheben, so daß das Rauschen und die Störspannungen der nachfolgenden Baugruppen keinen Einfluß mehr auf das Signal-Rausch-Verhältnis ausüben. Aus diesem Grunde wird üblicherweise ein Impedanzwandler mit in den Detektor integriert.

Ein weiterer nutzbarer Effekt ist der Bolometereffekt, der auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes beruht. Aufbau und Eigenschaften sind z. B. in [2] beschrieben. Unter Berücksichtigung von Unterschieden zwischen Lastwiderstand R_L und Bolometerwiderstand R_B sowie der durch die am Bolometerwiderstand abfallenden Kompensationsspannung hervorgerufene Joulesche Erwärmung gilt für die Signalspannung von Thermistor- bzw. Metallbolometern

$$dU_S = -\frac{U R_{B_A} \cdot R_L}{(R_{B_A} + R_L)^2} \gamma_B(T_A)\, dT . \tag{7}$$

Aus der Modellgleichung (Bild 2) folgt, daß der Signalübertragungsfaktor entscheidend vom Wärmeübertragungskoeffizienten und der Fläche des Bolometerwiderstandes bestimmt wird.

2.3. Statik und Dynamik von Selektivierungsmitteln

Breitbandige nicht selektive Detektoren benötigen zusätzliche Selektivierungsmittel. Wenn gasgefüllte Filter, deren Wirkprinzip und deren Modellierung einer Küvette mit fest eingeschlossener Gaskonzentration gleichen, wegen der technologisch schwer beherrschbaren Problematik des langzeitstabilen Einschließens von Gasen nicht betrachtet werden, so werden die Forderungen an Steilheit der Bandkanten nur von Schmalbandinterferenzfiltern erfüllt. Ein Schmalbandinterferenzfilter kann als Strahlenübertrager interpretiert werden, der eine breitbandige Eintrittsstrahlung auf einen eng begrenzten Spektralbereich einschränkt. Es hat somit eine P-Charakteristik.

3. Konzeptionelle Gestaltung eines Infrarot-Gasanalysators auf Basis von Festkörperdetektoren

Die als Alternative zur konventionellen Technik betrachteten Bauelemente zeichnen sich durch

— Schmalbandigkeit der Filter
— unkompliziertes Übertragungsverhalten der Detektoren

aus. Der Nachteil der Filter, daß die zur Anwendung kommende Negativfiltration in bezug auf die Selektivität schlechter als die derzeitige positive Filtration ist, läßt sich im Meßgrößenumformer durch

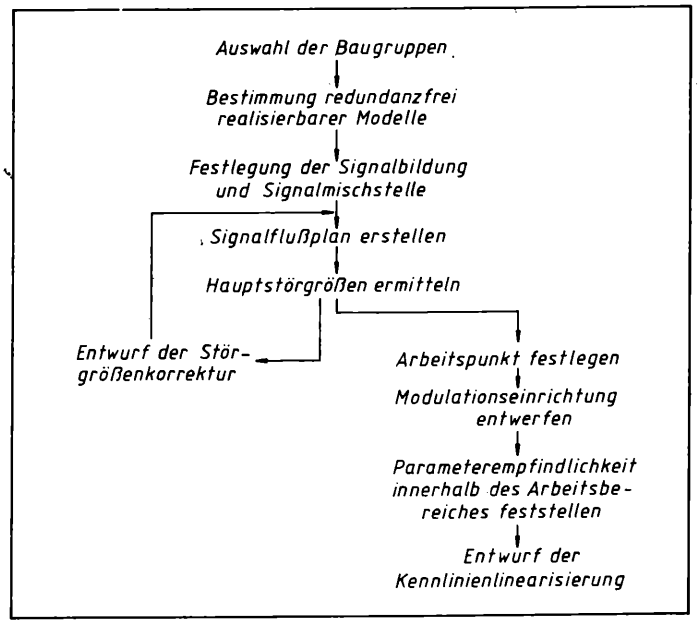
— sorgfältige Auswahl der Peak-Wellenlänge der Filter entsprechend der Meßaufgabe
— Kopplung von Schmalbandfiltern mit gasgefüllten Filtern
— Verwendung von Filtern höherer Ordnung
— Anwendung von Derivativvorsätzen
— interne Matrixkorrektur der Selektivität

verringern.

Die Kopplung von Festkörperdetektoren mit Filtern ergibt Baugruppen, auf deren Basis Grundkonzeptionen neuer MGU entworfen werden können.

Wegen der Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten ist es vorteilhaft, Entwurfshilfen zu nutzen, die, ausgehend von der Kennfunktion der Bauelemente, den Lösungsvorrat nach vorgegebenen Kriterien einzuengen gestatten. Dabei ist es vorteilhaft, eine Verknüpfung linguistisch darstellbarer Steuerungsaufgaben mit mathematischen Prozessen als Optimierungsprinzip zu nutzen (Bild 3).

Bild 3. Grobschema eines Entwurfsalgorithmus



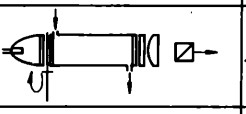
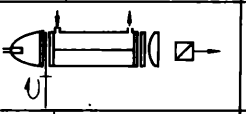
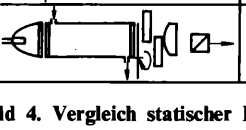
	Empfindlichkeit	Nullpunktdrift	Empfindlichkeitsdrift	Einlaufzeit ohne Kompensation	Temperaturzusatzfehler	Zusatzfehler atmosphärischer Druck	Linearitätsabweichung	Aufwand
	2,2	2	2,5	1	1	1	3+4	0,8
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,2	0,5	0,8	1	0,8	1	1	3+5

Bild 4. Vergleich statischer Parameter ausgewählter Meßgrößenumformer (unter Zugrundelegung von Strahlungsmodulation)

4. Diskussion der Ergebnisse

Der meßtechnisch einfachste, mit den modellierten Baugruppen aufbaubare Meßgrößenumformer ist die Reihenschaltung von einem Strahler, einer Küvette und einem Detektor mit Filter. Diese Anordnung (Bild 4) ist in Aufbau und Wirkungsweise dem Verfahren von SCHMICK [3] verwandt und ist ein Analysator negativen Typs mit Vorlast. Bedingt durch den verfahrensspezifischen Großsignalbetrieb gehen statische Störgrößen ungedämpft in das natürliche Abbildungssignal ein. Eine Messung der Störgrößen ist in situ nicht möglich.

Bezüglich der Modulation bestehen keine Einschränkungen, es sind I_0-, ϑ-, p-, c- und d-Modulation möglich.

Die als Nachteil wirkende Nichtidentifikation einer internen Vergleichsgröße ist durch Parallelschaltung zweier Filter umgehbar. Dabei dient ein Filter zur Identifikation des Nullpunktes und das zweite Filter zur Identifikation der Meßkomponente. Der sich so ergebende Meßgrößenumformer ist ein Analysator positiven Typs mit Vorlast. Eine Modulation, die zu einem echten Differenzsignal führt, ist nur bei fest eingebauten Filtern möglich. Bei Verwendung rotierender Filter treten bei I_0-, ϑ-, p-, c- und d-Modulation störende Doppelmodulationen auf. Vorteilhaft bei diesem Meßgrößenumformer wirkt die Möglichkeit des Ausschaltens homogen wirkender Störgrößen durch Quotientenbildung der natürlichen Abbildungssignale der beiden optischen Zweige.

Eine Kopplung beider Methoden ist durch Parallelschaltung zweier Küvetten bei Verwendung eines Filters möglich (Bild 4).

Zusammenfassung

Untersucht wird das Übertragungsverhalten von Bauelementen, die als Alternative zu konventionellen optopneumatischen Detektoren einsetzbar sind. Die wichtigsten, praktisch einsetzbaren Detektoren werden dargestellt und diskutiert. Dabei zeigt sich, daß für damit aufbaubare Meßgrößenumformer bei Berücksichtigung technisch-physikalischer und ökonomischer Parameter ein Polyoptimierungsproblem entsteht. Die Lösung dieses Problems ist von der Wahl der Zielfunktion abhängig.

Literatur

[1] N. N.: Pierre und Jacques Curie. tm, München 47 (1980) 12, S. 461.
[2] KRUSE, P. W.; MCGLAUCHLIN, L. D.; MCQUISTAN, R. B.: Grundlagen der Infrarot-Technik. Stuttgart: Verlag Berlin Union 1972.
[3] SCHMICK, H.: Einrichtung zur Bestimmung eines Bestandteiles in einem Gasgemisch, insbesondere von Gasen mit der Absorption der vorzugsweise ultraroten Gesamtstrahlung. DRP 465 899 vom 5. September 1929.

msr 8788

R. Liesigk, G. Lorenz

Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen im Fotochemischen Kombinat Wolfen (FCK)

0. Einleitung und Problemstellung

Bei der Entwicklung neuer fotografischer Informationsaufzeichnungsmaterialien (IAM) ist eine umfangreiche Versuchstätigkeit erforderlich. Eine Übersicht dazu gibt Tafel 1. Die Experimente sind durch:

- Vielseitigkeit der Versuchstätigkeit
- sehr große Anzahl möglicher Einfluß- und Zielgrößen
- zeitlich und örtlich getrennte Versuchsdurchführung
- zeitlich und örtlich getrennte Ermittlung der Versuchsergebnisse
- langen Bearbeitungszeitraum der Entwicklung von IAM
- Auftreten nichtnormierbarer, nur qualitativ erfaßbarer Einflußgrößen
- Vorhandensein mehrerer Zielgrößen, von denen einige nur durch subjektive Prüfungen ermittelt werden können

charakterisiert.
Deshalb wurde die Aufgabe gestellt, ein System zur Planung und Auswertung von Versuchen zu entwickeln, das die Lösung folgender Aufgaben ermöglicht:

- Generierung von Versuchsplänen unterschiedlicher Klassen
- statistische Auswertung dieser und weiterer, z. B. der Literatur entnommener Versuchspläne
- statistische Auswertung beliebiger Meßwertsätze
- Polyoptimierung auf Basis der ermittelten statistischen Modelle
- sichere anwendungsbezogene Datenverwaltung und -speicherung über längere Zeiträume.

Der große Umfang zu verarbeitender Informationen, ihr teilweise unsicherer oder subjektiver Charakter, die Unvollständigkeit vorhandener A-priori-Kenntnisse sowie die Beeinflussung der Versuchsergebnisse durch quantitative und qualitative Größen gehören zu den in [1] benannten Systemeigenschaften, unter denen der Einsatz eines Beratungssystems zweckmäßig ist.
Zugleich mußte die Nutzung des Systems durch einen breiten Kreis von Mitarbeitern unterschiedlicher Forschungsbereiche ermöglicht werden. Dabei war besonders zu beachten, daß ein großer Teil dieser Mitarbeiter über keine oder nur geringe Erfahrungen im Umgang mit Rechentechnik und in der Anwendung statistischer Methoden verfügt. Deshalb wurde beschlossen, dem zu entwickelnden System den Charakter eines Beratungssystems zu geben, das den Anwendern zusätzlich zu den bereits genannten Aufgaben eine umfangreiche Unterstützung in allen Etappen der Versuchsvorbereitung und -auswertung gibt. Im Beitrag werden

- die Struktur des Beratungssystems
- das Konzept der beratenden Komponente
- der bereits nutzbare algorithmische Grundausbau

vorgestellt.

Dipl.-Ing. REINHARD LIESIGK studierte von 1973 bis 1979 am Mendelejew-Institut Moskau in der Fachrichtung „Hauptprozesse der chemischen Industrie und chemische Kybernetik". Seit 1979 als Entwicklungsingenieur im VEB Filmfabrik Wolfen tätig. Seit 1984 außerplanmäßiger Aspirant an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, WB Automatisierungstechnik.
Doz. Dr. sc. techn. GERALD LORENZ studierte von 1951 bis 1959 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Physik. Danach wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, WB Automatisierungstechnik. 1967 Promotion A, 1980 Promotion B, 1981 Berufung zum Hochschuldozenten für das Fachgebiet „Automatisierungstechnik". Leitet gegenwärtig die AG „Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente" des o. g. Wissenschaftsbereichs.

Tafel 1. Übersicht über die Versuchstätigkeit im FCK

Einteilung nach:

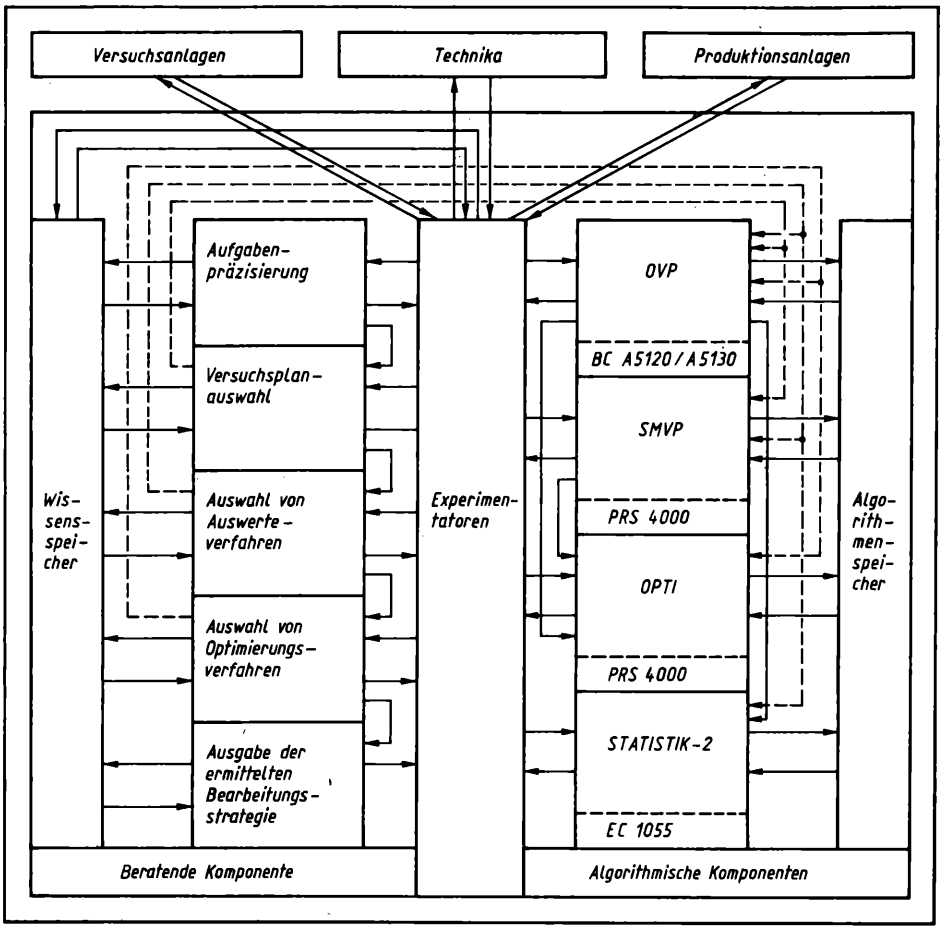
1. Anlagen, an denen Versuche durchgeführt werden
   - Versuche an Produktionsanlagen
   - Technikumversuche
   - Laborversuche
2. Art der Zielgrößen
   - fotografische Eigenschaften (Empfindlichkeit, Dichte, Schleier, Körnigkeit, farbrichtige Wiedergabe, . . .)
   - physikalische Eigenschaften
   - chemische Eigenschaften
3. Aufgabenstellung der Versuche
   - Haltbarkeitsuntersuchungen
   - Beschichtungsversuche (Einschicht-, Mehrschichtbeguß)
   - Optimierung technologischer Parameter
   - Bauelementeuntersuchung (Kuppler, . . ., Emulsion)
   - Rezeptoptimierung
   - Reproduzierbarkeit des Rezepts
   - Überführung an Produktionsanlagen
   - Verarbeitungsuntersuchungen

1. Struktur des Beratungssystems

Nach [2] sind Beratungssysteme Gerätesysteme, die den Menschen beim Lösen von Steuer- und Entscheidungsaufgaben in einem begrenzten Wissensgebiet unterstützen. Auf die Bedeutung ähnlicher Systeme für die mathematische Statistik wies NALIMOV bereits 1975 hin [3]. Für ein Beratungssystem zur Lösung von Steuerungsaufgaben werden in [2] Eingangsmodul, Entscheidungsmodul, Ausgangsmodul und Wissensspeicher als typische Funktionsgruppen angegeben, wobei der Mensch im Dialog mit diesen Modulen arbeitet und als Entscheidungsträger in das System einbezogen wird. Prinzipiell enthält das hier vorgestellte Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen die gleichen Funktionsgruppen, die jedoch nicht als ganze Blöcke auftreten, sondern in die verschiedenen Teilsysteme integriert sind.
Bedingt durch die Einbeziehung von Programmsystemen für unterschiedliche Rechenanlagen und die etappenweise Realisierung des Systems, bei der zunächst die Bereitstellung algorithmischer Programme im Vordergrund stand, ergab sich die im Bild 1 dargestellte Struktur. Sie ist durch eine beratende und mehrere algorithmische Komponenten gekennzeichnet. Der Wissensspeicher untergliedert sich entsprechend in den Wissensspeicher der beratenden Komponenten und die Algorithmenspeicher der jeweiligen Programmsysteme. Diese Struktur ermöglicht es dem Experimentator, zunächst im Dialog mit der beratenden Komponente eine Bearbeitungsstrategie zu ermitteln und diese anschließend mit Hilfe der algorithmischen Teilsysteme zu realisieren. Diese Vorgehensweise bei der Nutzung des Beratungssystems zeigt Bild 2. Der Experimentator kann bei der Arbeit mit der beratenden Komponente wahlweise einen, mehrere oder alle Blöcke abarbeiten, so daß die Ermittlung der Bearbeitungsstrategie auch etappenweise, angepaßt an die jeweils bevorstehende Phase der Versuchstätigkeit, erfolgen kann. Zusätzlich verfügt der Experimentator über einen direkten Zugriff zum Wissensspeicher. Die Blockstruktur der beratenden Komponente bietet dem Experimentator die Möglichkeit, nach Vorliegen der ersten Ergebnisse der statistischen Auswertung nochmals Teile dieser Komponenten zu nutzen, um

- zusätzliche Auswerteverfahren auszuwählen
- zu einem anderen Versuchsplan überzugehen
- Parameter der Aufgabenstellung zu präzisieren.

Bild 1. Struktur des Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen bei der Entwicklung von Informationsaufzeichnungsmaterialien



Einige Beispiele für eine solche Vorgehensweise sind im Bild 2 enthalten.

Die Verbindung zwischen beratender und algorithmischen Komponenten erfolgt in diesem System stets über den Experimentator. Die Ursache dafür ist die Einbeziehung von Programmsystemen für unterschiedliche Rechenanlagen. Die bestehenden logischen Verknüpfungen zwischen den Komponenten des Systems sind im Bild 1 mit gestrichelten Linien dargestellt.

Die Verbindung zwischen Beratungssystem und Versuchsanlagen erfolgt auch über den Experimentator, d. h., die Daten sind nach der Ermittlung der Meßergebnisse einzugeben. Dies ist wegen der großen Anzahl der Anlagen, an denen die Versuche durchgeführt werden und wegen der Ermittlung der Versuchsergebnisse in unterschiedlichen Laboratorien zweckmäßig.

2. Beratende Komponente

2.1. Aufgaben und Struktur

Die Komponente erhält die Aufgaben,

(1) den Experimentatoren methodische Unterstützung bei der Lösung konkreter Forschungsaufgaben zu geben
(2) Mitarbeiter, die über keine Erfahrungen auf dem Gebiet der statistischen Versuchsplanung verfügen, mit Hilfe der im Wissensspeicher enthaltenen Informationen an dieses Fachgebiet heranzuführen.

Bild 3 zeigt die zur Lösung beider Aufgaben geeignete Struktur der beratenden Komponente.

Zur Lösung der erstgenannten Aufgabe werden die Blöcke des Dialogteils angewählt, wobei diese selbständig auf die im Wissensspeicher enthaltenen Informationen zugreifen. Zur Nutzung des Systems zu Qualifizierungszwecken wird der direkte Zugriff des Experimentators zum Wissensspeicher ermöglicht.

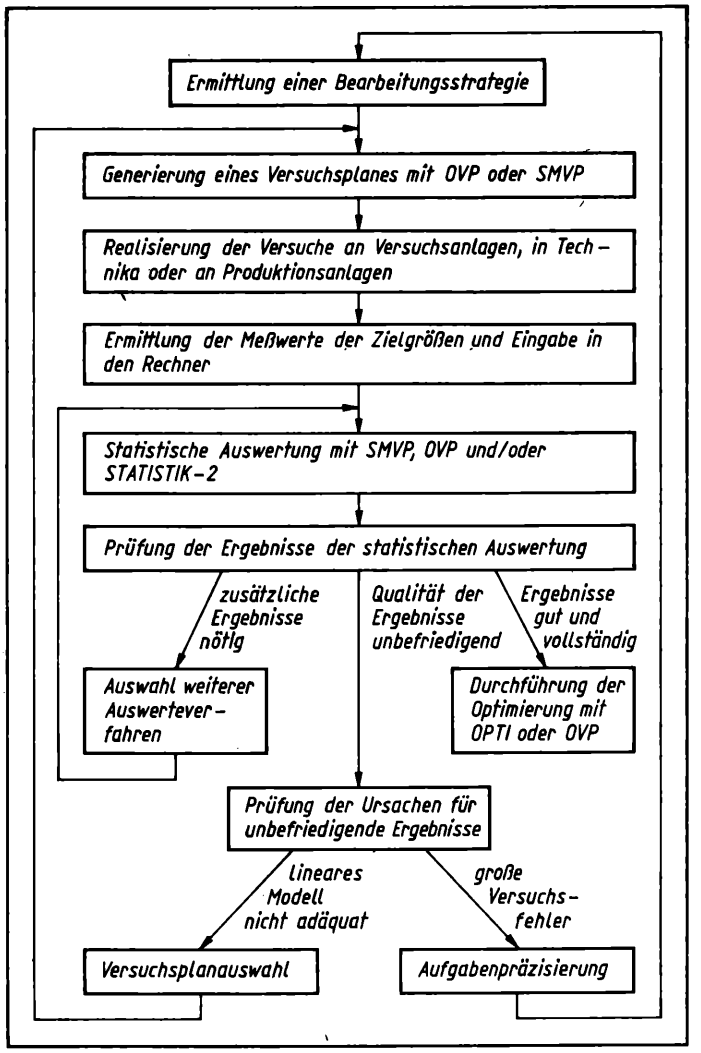


Bild 2. Vorgehensweise bei der Nutzung des Beratungssystems ▶

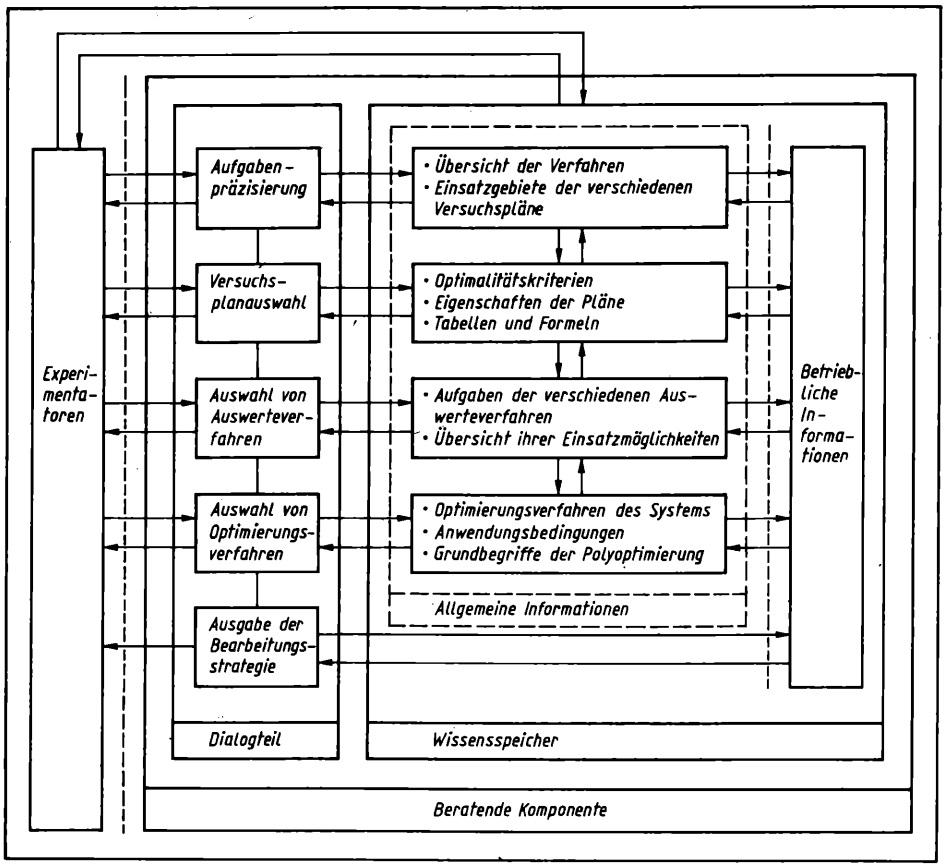


Bild 3. Struktur der beratenden Komponente

◀

Bild 4. Ausschnitt aus der Dialogstruktur des Blokkes „Versuchsplanauswahl"

2.2. Dialogteil

Wie bereits aus Bild 2 ersichtlich, gliedert sich der Dialogteil der beratenden Komponente in die Blöcke:

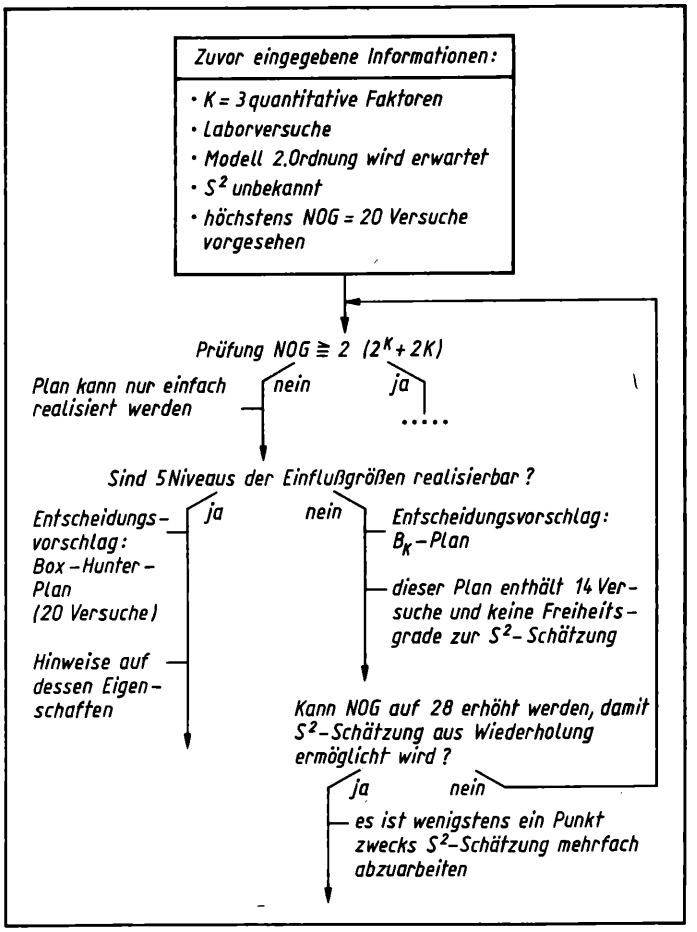
- Aufgabenpräzisierung
- Versuchsplanauswahl
- Auswahl von Auswerteverfahren
- Auswahl von Optimierungsverfahren
- Ausgabe der Bearbeitungsstrategie.

Vergleicht man diese Einteilung mit den in [2] genannten Funktionsgruppen, so kann man den ersten Block als Eingangs-, die Blöcke 2 bis 4 als Entscheidungs- und den Block 5 als Ausgangsmodul betrachten. Dabei tritt allerdings eine Überschneidung in dem Sinne auf, daß die Aufgaben des Blockes „Aufgabenpräzisierung" bereits in hohem Maße in die einem Entscheidungsmodul zuzuordnenden Funktionen hineinreichen.

2.2.1. Aufgabenpräzisierung

Die Hauptelemente des Dialogs des Experimentators mit der beratenden Komponente sind in diesem Block integriert, der dem Experimentator bei der exakten Formulierung der zu lösenden Aufgabe, bei der Zusammenstellung in der Phase der Versuchsvorbereitung zu beachtender Details sowie bei der systematischen Einbeziehung vorhandener A-priori-Informationen in die Untersuchungen unterstützt. Durch eine Folge von Abfragen und Menüs wird der Experimentator aufgefordert,

— die Zielstellung der Versuche und die Anlage, an der diese durchgeführt werden sollen, zu charakterisieren
— Anzahl, Art, Dimensionen und — wenn bekannt — Meßgenauigkeit der Einfluß- und Zielgrößen anzugeben
— Informationen über eventuell bereits durchgeführte ähnliche Versuche zusammenzustellen
— eventuell vorhandene Vorkenntnisse über die erwartete Modellstruktur und den Versuchsfehler zusammenzustellen
— eventuell vorhandene Vorkenntnisse über den realisierbaren Variationsbereich der Einflußgrößen zusammenzustellen.



2.2.2. Entscheidungsmodul

Die dem Entscheidungsmodul zuzuordnenden Blöcke verarbeiten die vom Block „Aufgabenpräzisierung" gesammelten Informationen, benötigen aber zumeist noch einige ergänzende Angaben. Der Block

„Versuchsplanauswahl" ermittelt einen geeigneten Versuchsplan in Abhängigkeit von

— der Zielstellung der Versuche
— der gewählten Anlagenklasse
— der vorgegebenen maximalen Versuchsanzahl
— dem Charakter der Einflußgrößen.

Ein Beispiel dafür zeigt Bild 4 in vereinfachter Darstellung. Sind die genannten Angaben widersprüchlich oder hat der gewählte Plan z. B. keine Freiheitsgrade zur Versuchsfehlerschätzung, so wird zum nochmaligen Durchdenken der entsprechenden Fragen und zur Korrektur der Eingaben aufgefordert. Im Block „Auswahl von Auswerteverfahren" werden die für das jeweilige Problem geeigneten statistischen Verfahren zusammengestellt. Die Auswahl ist u. a. abhängig:

— von der Zielstellung der Versuche
— vom Charakter der zu ermittelnden oder bereits vorliegenden Daten
— vom Vorliegen oder Fehlen von Versuchswiederholungen
— von Orthogonalität oder Nichtorthogonalität des Versuchsplanes.

Der Block „Auswahl von Optimierungsverfahren" stellt dann eine Strategie zur Lösung des jeweiligen Optimierungsproblems zusammen. Die Abarbeitung dieses Blocks wird oft erst nach Abschluß der statistischen Auswertung und Einschätzung der ermittelten Regressionsmodelle zweckmäßig sein.

2.2.3. Ausgangsmodul

Der Ausgangsmodul stellt die mit den zuvor abgearbeiteten Blöcken ermittelte Bearbeitungsstrategie zusammen und ergänzt diese durch betriebsspezifische Informationen. Als Ergebnis erhält der Experimentator ein Protokoll, das folgende Angaben enthält:

— ausgewählter Versuchsplan mit seinen wesentlichen Parametern
— Programmsystem, mit dem der gewählte Versuchsplan generiert und ausgewertet werden kann
— Zusammenstellung der Einfluß- und Zielgrößen
— Zusammenstellung der A-priori-Kenntnisse
— Aussagen zum Variationsbereich der Faktoren
— ausgewählte Auswertungs- und Optimierungsverfahren
— betriebsorganisatorische Hinweise (siehe Abschn. 2.3.).

2.3. Wissensspeicher

Der Wissensspeicher enthält Informationen, die

— vom Dialogteil zur Zusammenstellung von Bearbeitungsstrategien benötigt werden
— zur Heranführung von Mitarbeitern an das Fachgebiet genutzt werden können
— über betriebliche Anwendungsbedingungen informieren.

Während jedem der ersten vier Blöcke des Dialogteils ein Informationsblock des Wissensspeichers direkt zugeordnet ist und über diesen auch die Verbindung zu den betrieblichen Informationen erfolgt, verfügt der Ausgabeblock nur über einen unmittelbaren Zugriff zum Block der betrieblichen Informationen.
Der allgemeine Teil des Wissensspeichers enthält u. a.:

— eine Übersicht der im System enthaltenen Versuchspläne, Auswertungs- und Optimierungsverfahren
— wesentliche Parameter dieser Versuchspläne (Versuchsanzahlen, Optimalitätseigenschaften, Einsatzgebiet, bei einigen Plänen benötigte Formeln und Tabellen)
— die wichtigsten Optimalitätskriterien
— Hinweise zur Anwendung der Auswertungs- und Optimierungsverfahren
— einige Grundbegriffe der Polyoptimierung.

Hier werden auch Informationen zu Versuchsplanklassen gespeichert, die vom System nicht generiert aber mit den statistischen Verfahren des Systems ausgewertet werden können. Diese Informationen werden dem Nutzer in Form von Hinweisen auf Literatur, der diese Pläne zu entnehmen sind, zugänglich gemacht. Der betriebliche Informationsblock enthält Hinweise dazu, an welchen Rechenanlagen

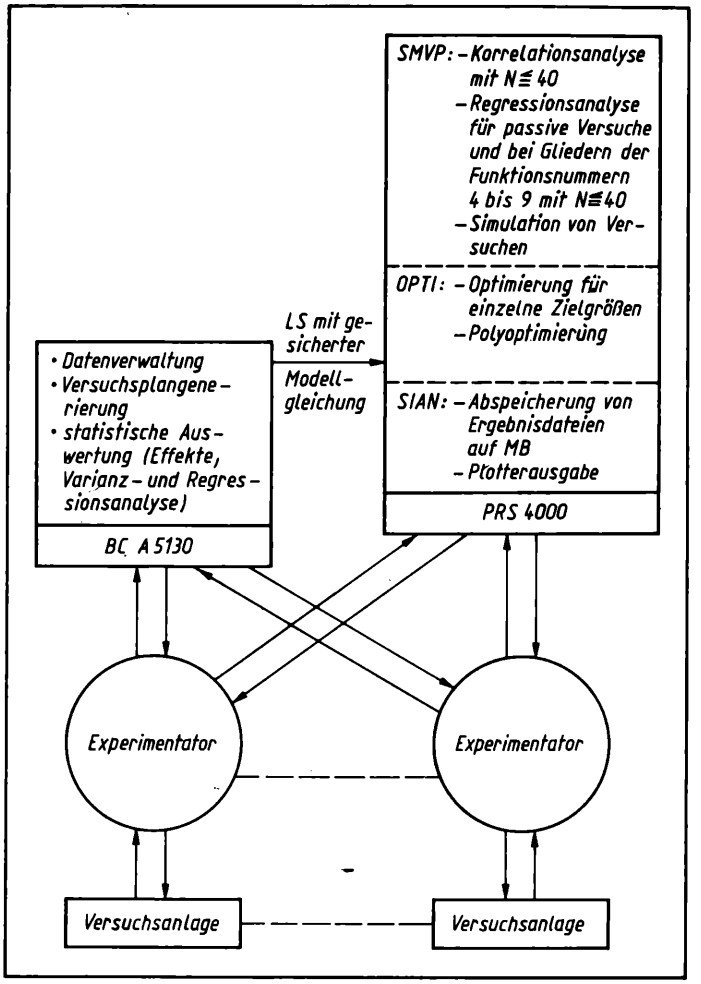


Bild 5. Algorithmischer Grundausbau

die Verfahren des Systems genutzt werden können. Er wird durch betriebsorganisatorische Angaben vervollständigt, zu denen z. B. die Standorte der Rechenanlagen und die Anlaufpunkte für die Bestellung von Rechenzeit an diesen Anlagen gehören.

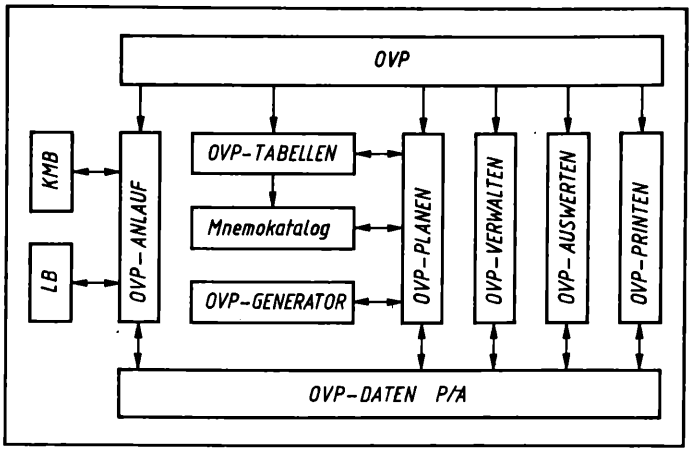
3. Algorithmischer Grundausbau

3.1. Struktur des Grundausbaus

Der algorithmische Grundausbau des Beratungssystems besteht aus den drei Programmsystemen:

— Optimale Versuchsplanung am Bürocomputer OVP
— Statische Modellermittlung durch Versuchsplanung SMVP
— Optimierungssystem OPTI.

Bild 6. Struktur von OVP



Tafel 2. Übersicht über die mit OVP generierbaren Versuchspläne
N Anzahl der Versuche; k Anzahl der Faktoren; p Anzahl der Nebenfaktoren; QF Anzahl der qualitativen Faktoren; ST Anzahl der Sternpunktversuche; $N\emptyset$ Anzahl der Zentrumsversuche; L Anzahl der Niveaus qualitativer Größen; s^2 Versuchsstreuung; H Anzahl der auf 2 Niveaus variierten Faktoren in VP-LAQF

VPG 1	VPG 2	EVOP	VP-PB	VP-LAQ	VP-LAQF
$N = 2^{k-p}$	$N = 2^{k-p} + ST + N\emptyset$	$N = 2^{k-p} + 1$	$N = k + 1 \leqq 72$	$N = L \cdot L$; $L \leqq 8$	$N = 2^H$; $3 \leqq H \leqq 6$
zur Ermittlung linearer statistischer Modelle	zur Ermittlung quadratischer statistischer Modelle	zur experimentellen Optimierung	zur Feststellung signifikanter Einflußgrößen	zur Untersuchung des Einflusses qualitativer Größen	zur gleichzeitigen Untersuchung qualitativer und quantitativer Größen
• vollständiger Faktorplan $k \leqq 6$ $p = \emptyset$ • Teilfaktorplan $5 \leqq k \leqq$ (etwa) 15 $4 \leqq k - p \leqq 6$ (als Nebenfaktoren sind vorzugsweise Faktoren auszuwählen, von denen keine Wechselwirkungen erwartet werden)	• Box-Wilson-Plan $N\emptyset = 1$ • BK-Plan (s^2 bekannt oder aus Wiederholungen schätzbar) - - - - - - - - - - - - • Box-Hunter-Plan $N\emptyset > 1$ • Orthogonaler und drehbarer Plan $N\emptyset > 1$ (s^2 soll aus Zentrumsversuchen ermittelt werden)	• jeder $(2^{k-p} + 1)$-Plan stellt eine Phase der EVOP-Methode dar • kann auch anstelle von VPG 1 verwendet werden	• frühe Bearbeitungsphase einer Aufgabe: aus einer Vielzahl möglicher Einflußgrößen sind die entscheidenden zu ermitteln	$QF = 3$ alle Faktoren werden auf L-Niveaus variiert	$1 \leqq QF \leqq 7$ einige Faktoren werden auf 2-, andere auf 4- oder 8-Niveaus variiert
			lineares Grobmodell kann berechnet werden	Vernachlässigbarkeit von Wechselwirkungen erforderlich	Vernachlässigbarkeit von Wechselwirkungen erforderlich
			Plackett-Burman-Pläne	Lateinische Quadrate	mit Faktorplänen überlagerte lateinische Quadrate und Rechtecke
nur 2 Niveaus	$2 \leqq k \leqq 8$ $p \leqq 2$				
Standardplan zur Lösung einer Vielzahl von Aufgaben	• bei wenigen Einflußgrößen • in Nähe des Optimums				

Die Struktur und die Aufgabenverteilung zwischen diesen Systemen zeigt Bild 5.

3.2. Programmsystem „OVP" für BC A5120/A5130

OVP ist ein leistungsfähiges Programmsystem zur Versuchsplanung und -auswertung auf Mikrorechnerebene. Es arbeitet unter dem Betriebssystem UDOS 1526 und wurde überwiegend in PASCAL geschrieben. Es ist auf Bürocomputern A5120/A5130 mit einem Bildschirm mit 16 × 64 Zeichen, der Tastatur K7636 und mindestens 2 Diskettenlaufwerken nutzbar. Zur vollständigen Nutzung aller Leistungen des Systems ist die Ausstattung des Bürocomputers mit einem Kassettenmagnetbandgerät und einer Lochbandeinheit wünschenswert. OVP zeichnet sich durch eine übersichtliche, leicht erlernbare Dialoggestaltung aus. Es werden weitgehend Menüs genutzt, aus denen mittels Cursor oder Tastencode ausgewählt werden kann. Bei einigen Aufgaben wird der Nutzer mit Hilfe von Kommandodateien geführt. Bedienintensivere Programme (z. B. die Eingabeprogramme) enthalten Bedienungsanleitungen, die jederzeit auf dem Bildschirm abgerufen werden können. Die Protokolle von OVP enthalten eine Reihe von Organisationsdaten sowie mnemotechnische Bezeichnungen der Einfluß- und Zielgrößen. Sie ermöglichen damit eine effektive Dokumentation der Ergebnisse.

OVP ist in Strukturen untergliedert, die jeweils auf einer Diskette zur Verfügung stehen. Gegenwärtig umfaßt OVP 8 Programmdisketten und benötigt zusätzlich eine Datendiskette. Eine Übersicht gibt Bild 6.

OVP-ANLAUF führt den Start des Systems aus. Hier stehen die notwendigen UDOS-Programme sowie einige Kommandodateien, z. B. zur Arbeit mit dem Kassettenmagnetbandgerät.

OVP-TABELLEN enthält Programme zum Anlegen und Editieren des Mnemokataloges und zur Anlage von Tabellen, die bei der Generierung einiger Arten von Versuchsplänen benötigt werden. Der MNEMOKATALOG ist eine umfangreiche Tabelle, die der Zuordnung von physikalisch sinnvollen Bezeichnungen, Dimensionen und Anzahl der Nachkommastellen zu allen Größen dient. Er kann von jedem Nutzer mit Hilfe der Struktur OVP-TABELLEN seinen konkreten Anforderungen entsprechend zusammengestellt werden.

Mit OVP-PLANEN werden die Versuchsräume angelegt. Hierzu gehören die Wahl der Art des Versuchsplanes, die Eingabe von Einfluß- und Zielgrößen (durch Anwahl der entsprechenden Zeilen des Mnemokataloges) und die Eingabe der realen Werte der Einflußgrößen.

OVP-GENERATOR enthält die Programme zur Generierung der Versuchspläne, die an der erforderlichen Stelle von der Struktur OVP-PLANEN aufgerufen werden.

Eine Übersicht über die mit dem System generierbaren Versuchspläne und deren Einsatzgebiete gibt Tafel 2.

OVP-VERWALTEN ermöglicht die Ausgabe der Protokolle zum Versuchsraum (Strukturprotokolle, normierter Versuchsplan, Protokoll lateinischer Quadrate). Die Struktur dient außerdem zur Eingabe der Versuchsreferenzen (Versuchsnummer und -datum) und der Werte der Zielgrößen.

OVP-AUSWERTEN enthält Programme zur statistischen Auswertung:

- Versuchsfehlerschätzung
- Varianzanalyse (einfache Klassifikation)
- Berechnung von Versuchseffekten
- Regressionsanalyse
- Prüfung der Modellqualität
- Entnormierung der Modelle
- Auswertung lateinischer Quadrate.

OVP-PRINTEN dient zum Druck der Ergebnisprotokolle. Das Teilsystem OVP wird zur Nachnutzung angeboten.

3.3. Teilsysteme SMVP und OPTI für PRS 4000

Das von der IHS Dresden entwickelte System SMVP [4] wird bereits seit mehreren Jahren im FCK genutzt. Da jedoch OVP eine Reihe wesentlicher Vorteile gegenüber diesem System aufweist (günstigere

(Fortsetzung auf Seite 415)

Abstimmung internationaler Vorschriften zu ASU TP mit der UdSSR und VRB

Im Jahr 1986 wurden die gemeinsamen Arbeiten zur Standardisierung automatisierter Systeme technologischer Prozesse (ASU TP) im Auftrag des Ministeriums für Elektrotechnik und Elektronik (MEE) der DDR erfolgreich mit dem Fachministerium für Gerätebau, Automatisierungsmittel und Steuerungssysteme der UdSSR (MGAS) bzw. mit dem Technologischen Zentrum für Automatisierung (TZA-ZNIKA Sofia) der VRB fortgesetzt [1] und [2]. Die gemeinsamen Arbeiten zur Zuverlässigkeit, zu Programmsteuerungen für Werkzeugmaschinen und Industrieroboter sowie zu Steuerungssystemen für Kernkraftwerke sollen den Warenaustausch zwischen den Ländern und die Spezialisierung bei der Entwicklung, Standardisierung, Vorbereitung und Fertigung kompletter Automatisierungsanlagen aktivieren.
Folgende Themenkomplexe wurden in die Abstimmungen einbezogen:

- Empfohlenes Arbeitsprogramm zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit von ASU TP
- Einheitliche Forderungen an die quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Mittel für ASU TP
- Externes Interface für Programmsteuerungen von Werkzeugmaschinen und Industrieroboter
- Allgemeine Forderungen an den technologischen Prüfdurchlauf von Erzeugnissen für Kernkraftwerke
- Allgemeine Forderungen an die seismische Beständigkeit von Automatisierungsmitteln für Kernkraftwerke.

Die Abstimmungsergebnisse wurden in der DDR in die Projektierungsvorschriften P. V. Ordng. Nr. 6.9 (Teil 2 und 12) bzw. 6.30 (Teil 2 und 3) des Kombinates Automatisierungsanlagenbau Berlin bzw. in den Kombinatstandard FHS 50306 des VEB Werkzeugmaschinenkombinat Karl-Marx-Stadt [3] eingearbeitet. Die Projektierungsvorschriften zur Zuverlässigkeit und zu Kernkraftwerken können beim ZFT des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (Abt. ZFT — VA) bezogen werden. Sie gelten ab 1988 für alle ASU TP der Industrie, die Gegenstand der gegenseitigen Lieferungen des MGAS der UdSSR bzw. TZA-ZNIKA Sofia der VRB und des MEE der DDR sind. Diese Vorschriften sind auch anwendbar für ähnliche Zuverlässigkeitsstrukturen, Einsatzbedingungen bzw. für weitere Anwendungsgebiete in der Industrie, z. B. allgemeine Automatisierungsanlagen und spezielle elektrotechnische Anlagen.

1. Empfohlenes Arbeitsprogramm zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit von ASU TP

Das im Teil 2 der P. V. Ordng. Nr. 6.9. [4] festgelegte und mit der UdSSR und jetzt auch mit der VRB abgestimmte sowie zur Anwendung empfohlene Arbeitsprogramm umfaßt eine umfangreiche Liste von Arbeiten zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit und gibt an, in welcher Reihenfolge bzw. nach welcher Ordnung diese Arbeiten sowie deren Nachweis bei der Realisierung von ASU TP durchzuführen sind. Es enthält neben dem Verzeichnis der Aktivitäten mit den notwendigen Durchführungsterminen auch den Kreis der mit ihrer Durchführung Beauftragten, um ein erforderliches Zuverlässigkeitsniveau konkreter ASU TP zu bestimmen und das in einer Etappe der Realisierung erreichte Zuverlässigkeitsniveau zu bewerten sowie Maßnahmen zu dessen Sicherstellung und Erhöhung auszuarbeiten. Für konkrete Systeme werden nur solche Arbeiten aus dem Rahmenarbeitsprogramm ausgewählt, die zur Erreichung eines bestimmten vorgegebenen Zuverlässigkeitsniveaus notwendig sind.

Das mit der VRB präzisierte Rahmenarbeitsprogramm enthält für folgende Realisierungsetappen von ASU TP konkrete Arbeitsschritte, die zur Zuverlässigkeitssicherung notwendig werden können:

- technische Aufgabenstellung (Voruntersuchungen, Grobentwurf)
- Grundprojekt (Entwurf, systemtechnische, geräte- und programmtechnische Aussagen, Ermittlung der ökonomischen Effektivität und Anforderungen an die neu zu schaffenden Systeme)
- technisches Projekt (Arbeitsprojekt, Ausführungsunterlagen, Bedienungs- und Instandhaltungsunterlagen)
- Realisierungsphasen (Inbetriebnahme, Probebetrieb)
- Betrieb (Analyse der Betriebsverhältnisse, Datenrückmeldesystem).

Dieser Teil der P. V. enthält auch Anlagen mit

- einem aktualisierten Verzeichnis der normativ-technischen Vorschriften, die im Rahmen des Arbeitsprogramms notwendig sind
- allgemeinen Forderungen an ein Arbeitsprogramm zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit spezieller noch nicht standardisierter Mittel von ASU TP.

2. Einheitliche Forderungen an die quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Mittel für ASU TP

Analytische Methoden der Zuverlässigkeitseinschätzung werden immer häufiger angewendet. Jedoch ist oft die Übereinstimmung zwischen dem Verhalten eines realisierten Systems und der berechneten Zuverlässigkeit nicht gegeben. Ursache dafür ist die verschiedene Anwendung und Auswertung der Eingangsinformationen für eingesetzte Erzeugnisse. So nehmen die Entwickler von Systemen diese Eingangswerte als 100%ig garantierte Werte an, was jedoch dem Wahrscheinlichkeitscharakter der Zuverlässigkeitskenngrößen widerspricht. Weiterhin wird ein breites Spektrum von Kenngrößen und unterschiedlichen Methoden der Verteilung und Ermittlung angeboten. In der entstandenen Situation ist es daher schwierig, Richtigkeit und Vergleichbarkeit der quantitativen Ergebnisse bei komplexen Systemen zu gewährleisten. Im Teil 12 der P. V. Ordng. 6.9 [5] wird daher zu diesem Komplex als Präzisierung zu TGL 32800/02 [6] eine Untersetzung der vom ZNIKA/Sofia federführend erarbeiteten Vorschrift durchgeführt. Sie gilt für technische Mittel von ASU TP, für die durch gesetzliche Vorschriften und/oder Vereinbarungen eine quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit zu erfolgen hat. Diese Vorschrift legt wichtige allgemeine Minimalforderungen fest, die bei der Festlegung, Bestätigung und Kontrolle der Zuverlässigkeit in Auswertung der geltenden RGW-Standards [7] bis [13] bei allen technischen Mitteln für ASU TP gleichermaßen anzuwenden sind. Folgende Festlegungen für notwendige Kennwerte in den Entwicklungsetappen wurden getroffen:

- Bedingungen zur Anwendung einer einheitlichen Nomenklatur für die Auswahl der notwendigen Zuverlässigkeit
- gleiche Anwendung von Kenngrößen der Ausfallfreiheit, Langlebigkeit, Instandhaltungseignung und Komplexkenngrößen für gleichartige Gruppen von wiederherstellbaren bzw. nicht wiederherstellbaren Erzeugnissen mit gleichem Zeitverhalten
- Bedingungen zur Auswahl der Zuverlässigkeitskenngrößen
- Methoden und Bedingungen zur Grobbestimmung und Kontrolle sowie deren Prüfpläne der Zuverlässigkeitskennwerte.

Die Vorschrift enthält als Anlage eine Gegenüberstellung der Begriffe für die verwendeten Kenngrößen in deutscher und russischer Sprache sowie zusätzliche Erläuterungen für verwendete Prüfpläne und Bestimmungsprüfungen.

3. Externes Interface für Programmsteuerungen von Werkzeugmaschinen und Industrieroboter

Als Fortsetzung zu [1] wurden wichtige Festlegungen zu einem gemeinsam anzuwendenden externen Interface für Programmsteuerungen von Werkzeugmaschinen und Industrieroboter in der DDR in [3] eingearbeitet und mit der UdSSR abgestimmt. Diese Festlegungen gelten für den Datenaustausch von numerischen und speicherprogrammierbaren Steuerungen (NC-System) zum übergeordneten Rechnersystem und befinden sich in Übereinstimmung mit weiteren internationalen Vorschriften [14] bis [17]. In dieser Vorschrift werden für externe Datenschnittstellen erfaßt und beschrieben:

- Eigenschaften der Schnittstellen mit der Art der Datenübertragung (seriell, asynchron, zeichenweise), der Verbindungsart (Halb- oder Vollduplexbetrieb) und der Betriebsart (Konkurrenzbetrieb)
- Gestaltung der Spannungs- und 20-mA-Stromschnittstellen nach der durchzuführenden Funktion, den elektrischen Bedingungen und den dargestellten Steckverbinderbelegungen (37- und 25- sowie nur in der DDR angewandte 15polige ISO-Subminiatur-D-Steckverbinder) nach den Empfehlungen des Comité Consultatif International Telegraphique et Telephonique (CCITT)
- Darstellungen der Prozeduren zur Datenübertragung
  Hierzu gehören: Phasen der Datenübertragung, Inhalt der Datenblöcke für den Informationsaustausch, Zeichenformate für die zu übertragenden Text- und Übertragungssteuerzeichen, Folge der Steuerzeichen, Nachrichtenformate und Fehlerüberwachung durch Übertragung einer Blockprüfzeichenfolge.

Desgleichen legt [3] fest, daß die Beschreibung des Steuerungsprozesses in den einzelnen Phasen der Datenübertragung und die Berechnung der Prüfzeichenfolge Bestandteil der technischen Dokumentation in der Lieferung der Programmsteuerungen für Werkzeugmaschinen und Industrieroboter sein sollen.

4. Allgemeine Forderungen an den technologischen Prüfdurchlauf von Erzeugnissen für Kernkraftwerke

Die Auswertung des Unfalls im KKW Tschernobyl und die internationale Tagung der Atomenergieorganisation (IAEA) vom September 1986 bewirkten auch weitere Aktivitäten zur Erhöhung der Sicherheit bei Bau und Betrieb von Kernanlagen im Rahmen der TGL-GOST-Abstimmungen zwischen der DDR und UdSSR zur Standardisierung in diesem Bereich [18] und [19].
Erste Ergebnisse sind die gemeinsame Erarbeitung und Herausgabe der ersten o. g. Vorschriften zu Steuerungssystemen in beiden Ländern und die kontinuierliche Fortsetzung dieser Arbeiten in den nächsten Jahren.
Im vorgezogenen Teil 2 der P. V. Ordng. Nr. 6.30/2.87 [20] wird für in Kernkraftwerke eingesetzte Automatisierungsgeräte und Mittel (Erzeugnisse) ein zusätzlicher Prüfdurchlauf gefordert, der im Anschluß an den Fertigungsprozeß durchzuführen ist. Er stellt einen Funktionstest unter Betriebsbedingungen dar und wird durchgeführt, um offene und verdeckte Mängel rechtzeitig festzustellen und soll

- stabile technische Kennwerte der Erzeugnisse
- Festlegung von Maßnahmen zur Fehlerbeseitigung und deren Ursachen sowie Aussonderung von Bauelementen mit Qualitätsmängeln
- Auswertung der Informationen des Datenrückmeldesystems zur weiteren Sicherung der Erzeugnisqualität

gewährleisten.
Die für Kernkraftwerke gefertigten Erzeugnisse werden deshalb in der Regel einem zusätzlichen Prüfdurchlauf von mindestens 200 h Prüfdauer unterzogen. Die Prüfung der bestimmenden Kennwerte erfolgt nach einem festgelegten zeitzyklischen Prüfdurchlauf mit festgelegtem Regime bei Veränderung der Umgebungstemperatur und mechanisch-dynamischer Beanspruchung der Erzeugnisse. Erzeugnisse mit erhöhten Anforderungen werden einem erweiterten Durchlauf unterzogen. Hierzu gehören Geräte und Funktionseinheiten, die den Betrieb des Reaktors gewährleisten müssen bzw. Havarieschutzsysteme, die im Störungsfall ein gefahrloses Abfahren des Reaktors sichern sowie zur Verhütung des Austritts radioaktiver Substanzen dienen. Nach dem Durchlauf der Erzeugnisse ist eine gesonderte Abnahme durch das technische betriebliche bzw. staatliche Kontrollorgan (TKO in der DDR) vorzusehen, und es ist ein spezielles Journal (Erzeugnispaß) mit eingetragenen Prüfdaten zu führen. Dieses Journal ist dem Auftraggeber nach bestandener Prüfung auszuhändigen. Für diese Gruppen von Erzeugnissen wird die Organisation eines Datenrückmeldesystems für den Zeitraum von mindestens der Anfahrperiode (Probebetriebs) sowie weiterer vertraglich zu vereinbarender Zeiten und die Auswertung aller festgestellten Ausfälle, Schäden und anderer Stillstandszeiten vorgeschrieben.

5. Allgemeine Forderungen an die seismische Beständigkeit von Automatisierungsmitteln für Kernkraftwerke

Diese ebenfalls mit der UdSSR abgestimmte Richtlinie zur seismischen Beständigkeit wurde in den Teil 3 der P. V. Ordng. Nr. 6.30 [21] eingearbeitet und basiert auf IEC 50A (Sekretariat) 192 vom Juli 1982 sowie auf sowjetischen Erfahrungen. Sie gilt für Geräte und Einrichtungen von automatisierten Systemen zur Steuerung technologischer Prozesse in Kernkraftwerken (ASU TP — AES) und Kernheizwerken, die in seismischen Gebieten mit maximalen rechnerischen Erdbeben (MRE) bis zur Stärke 9 gemäß der MSK64-Skala (Intensität nach der 12teiligen makroseismischen Skala) installiert werden und legt die allgemeinen Forderungen an die seismische Beständigkeit der Erzeugnisse, die Prüfverfahren, die Parameter der Prüfbelastungen und die Abnahmevorschriften fest.
Im allgemeinen Teil werden die Erzeugnisse, die entweder direkt am Baukörper oder an Zwischenkonstruktionen (in Schränken, Tafeln, Rohrleitungen o. a.) angebracht werden, in Abhängigkeit ihres Anbringungsortes und nach ihrem funktionellen Bestimmungszweck nach den Ausführungsarten 1 bis 4 klassifiziert und festgelegt, daß der Generalprojektant eines Kernkraftwerkes die Erzeugnisse Gruppen zuordnet, deren Einteilung von den Ausführungsarten und den Beständigkeitskategorien in Abhängigkeit von der Bebenzahl des Standortes des Kernkraftwerkes und der Höhenmarke des Installationsortes vorgenommen wird.
Für die Durchführung der Prüfung ist festgelegt, daß die Erzeugnisse in der Regel mit vollständigem Zubehör unter simulierten betrieblichen Bedingungen am Rütteltisch befestigt und in verschiedenen Richtungen bzw. in der Betriebslage geprüft werden sollen. Als anzuwendende Prüfverfahren sind dafür gleichberechtigt zugelassen:

- Prüfung bei gleitender logarithmischer Veränderung der festgelegten Schwingungsfrequenzen (Gleitfrequenzmethode mit logarithmischer Ablenkung)
- Prüfung bei gleitender linearer Veränderung der festgelegten Schwingungsfrequenzen (Gleitfrequenzmethode mit linearer Ablenkung)
- Prüfung bei kritischen Belastungen, z. B. Resonanzfrequenzen, in 5 sinusförmigen Belastungszyklen (Methode der modulierten Sinusschwingungen)
- Prüfungen mit harmonischen Schwingungen mit Festfrequenzen (Frequenzmethode).

Die Prüfung auf seismische Festigkeit ist an Versuchsmustern im Rahmen von Vorprüfungen im Herstellerbetrieb bzw. bei staatlichen Abnahmeprüfungen durchzuführen. Erzeugnisse der Serienproduktion sind im Rahmen der Typprüfung erweitert zu prüfen und die Bedingungen und Wiederholprüfungen sind in den Datenblättern oder Standards festzulegen.

Literatur

[1] KLOUST, H.: Abstimmung neuer Vorschriften zu Automatisierten Systemen zur Steuerung technologischer Prozesse (ASU TP) mit der UdSSR. msr, Berlin 28 (1985) 5, S. 217—219.
[2] KLOUST, H.: Abstimmung der Vorschrift zur ökonomischen Bewertung der Zuverlässigkeit von ASU TP mit der UdSSR. msr, Berlin 27 (1984) 10, S. 465—466.
[3] FHS 50306 Numerische und speicherprogrammierbare Steuerungen; Datenschnittstellen, Asynchrones Interface. Ausgabe 1987.
[4] P. V. Ordng. Nr. 6.9/1.85 Teil 2: ASU TP; Empfohlenes Arbeitsprogramm zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit. Ausgabe Januar 1985.
[5] P. V. Ordng. Nr. 6.9/2.87 Teil 12: ASU TP; Einheitliche Forderungen an die quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Mittel. Ausgabe Februar 1987.
[6] TGL 32800/02: Automatisierte Systeme zur Steuerung technologischer Prozesse; Grundlegende Festlegungen zur Zuverlässigkeit. Ausgabe Dezember 1977.
[7] ST RGW 878-78 Zuverlässigkeit in der Technik. Festlegungen zur Nomenklatur für die Normierung der Kenngrößen.
[8] ST RGW 2408-80 Erzeugnisse der URS. Allgemeine Forderungen an die Zuverlässigkeit.
[9] ST RGW 2409-80 Erzeugnisse der URS. Methoden der Zuverlässigkeitsprüfung.
[10] ST RGW 2747-80 Erzeugnisse der elektronischen Technik. Allgemeine Forderungen an die Zuverlässigkeit und Methoden der Kontrolle.
[11] ST RGW 2836-80 Zuverlässigkeit in der Technik. Regeln zur Ermittlung der Einschätzungen und Vertrauensgrenzen für Zuverlässigkeitskenngrößen. Parametrische Methoden.
[12] ST RGW 1192-40 Zuverlässigkeit in der Technik. Einstufige Kontrollpläne der ausfallfreien Arbeit bei Exponentialverteilungen.
[13] ST RGW 3944-82 Zuverlässigkeit in der Technik. Planung der Beobachtungen.
[14] DIN 66267 Teil 1: Datenaustausch mit numerischen Steuerungen; Schnittstelle und Übermittlungsprotokoll. BRD-Vorschrift. Ausgabe 08. 1984.
[15] VDI 2880 Blatt 2: Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte; Prozeß- und Datenschnittstellen. BRD-Vorschrift. Ausgabe 09. 1985.
[16] EIA RS-232 C: Schnittstelle zwischen Datenend- und Übertragungseinrichtungen für den seriellen Datenaustausch. USA-Vorschrift.
[17] EIA RS 449 Allgemeine Festlegungen für ein 37 und 9poliges Interface zwischen Datenend- und Übertragungseinrichtungen für den seriellen Datenaustausch. USA-Vorschrift.
[18] Berlin. ADN/BZ: IAEA beriet über Reaktorsicherheit; DDR-Erklärung für Erarbeitung internationaler Standards. Ausgabe Mai 1986.
[19] Berlin. ADN/BZ: IAEA-Tagung über Sicherheit von Kernkraftwerken beendet; Ergebnisse sollen in Konventionsentwürfe einfließen. Ausgabe September 1986.
[20] P. V. Ordng. Nr. 6.30/2.87 Teil 2: ASU TP AES; Technologischer Prüfdurchlauf von Erzeugnissen, die für Kernkraftwerke geliefert werden; Allgemeine Forderungen. Ausgabe Februar 1987.
[21] P. V. Ordng. Nr. 6.30/11.87 Teil 3: ASU TP; Allgemeine Forderungen und Prüfverfahren an die seismische Beständigkeit von Geräten und Automatisierungsmitteln. Ausgabe Oktober 1987.

Ing. Ing. H. KLOUST; Leitender wissenschaftlicher Mitarbeiter und Koordinierungsbeauftragter zu ESS ASU TP im ZFT des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin. msr 8721

(Fortsetzung von Seite 412)

Dialog- und Protokollgestaltung, Zuordnung mnemotechnischer Bezeichnungen, größere Auswahl generierbarer Versuchspläne, multiple Verarbeitung, Datenspeicherung), wird SMVP zukünftig vor allem zur Lösung solcher Aufgaben genutzt, die nicht in das System OVP einbezogen wurden:

— Korrelationsanalysen
— Auswertung von Meßwertreihen, die nicht nach statistischen Versuchsplänen ermittelt wurden
— Simulation des Einflusses von Meßfehlern und Drift auf Regressionspolynome
— Regressionsanalysen mit speziellen Funktionen im Modellansatz (ln, SQRT, X^3, usw.).

An fast alle statistischen Auswertungen schließt sich eine Optimierung mit dem System OPTI an. Da bei fotografischen Versuchen immer mehrere Zielgrößen auftreten, die sich nicht oder nur zu einem geringen Teil additiv verknüpfen lassen, wurde bei der Entwicklung dieses Systems besonderer Wert auf die Bereitstellung von Polyoptimierungsverfahren gelegt. So besteht das System aus einigen Programmen zur Optimierung einzelner Zielgrößen mit einfachen Verfahren:

- Berechnung von Wertetabellen
- Box-Wilson-Methode
- Kammlinienanalyse
- Lagrange-Faktorenmethode,

die zum Teil zugleich als Unterprogramme bei der Polyoptimierung genutzt werden, und Polyoptimierungsprogrammen unterschiedlicher Güte und Kompliziertheit. Hierzu gehören ein Programm zur Berechnung von Wertetabellen, das eine einfache Kompromißbildung ermöglicht, und Programme

— zur stochastischen Suche
— zur Berechnung gewichteter Zielfunktionen
— zur Idealpunktannäherung
— zur lexikografischen Ordnung
— zur Optimierung unter Vorgabe zulässiger Abweichungen von den Einzeloptima.

Zusammen mit diesem System können einige Programme eines zur Signalanalyse entwickelten Programmsystems genutzt werden, die zusätzliche Druckmöglichkeiten (z. B. Plotterausgaben) und die Abspeicherung der Ergebnisse auf Magnetband ermöglichen.

Zusammenfassung

Es wurde ein in Entwicklung befindliches Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen vorgestellt. Der im Abschn. 3. beschriebene Grundausbau steht derzeit zur Nutzung zur Verfügung. Gegenwärtig wird an der Erweiterung des Algorithmenvorrates, u. a. durch Einbeziehung des Programmpakets STATISTIK-2 vom VEB Kombinat Robotron, gearbeitet. Für die beratende Komponente wurde ein Konzept entwickelt, dessen Realisierung zur Zeit vorbereitet wird. Das Programmsystem „OVP" für Bürocomputer wird zur Nachnutzung angeboten.

Literatur

[1] WERNSTEDT, J.: Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme, msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349—354.
[2] WERNSTEDT, J.: Beratungssystem Glucon. Wissenschaft und Fortschritt, Berlin 36 (1986) 6, S. 150—153.
[3] NALIMOV, V. V.: Theorie des Experiments, Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1975.
[4] KUBIN, H.: Programmbeschreibung SMVP, IHS Dresden 1982.

Eine einfache Approximation des Studentschen t-Faktors mit Rechnern

0. Einleitung

Die zufälligen Fehler von Meßwerten werden nach [1] bekanntlich aus dem Schätzwert $s = \sqrt{Q/k}$ der Standardabweichung und dem Studentschen t-Faktor $t(P; k)$ zu

$$u_f = t(P; k) \cdot s/\sqrt{N}$$

ermittelt. Q ist die Summe der Abweichungsquadrate, die nach dem bekannten Gaußschen Verfahren minimiert wird. Die Zahl der Freiheitsgrade $k = N - I$ ergibt sich aus der Zahl der Meßwerte N und der Zahl der angepaßten Parameter I. Für den häufig vorkommenden Mittelwert ist $I = 1$, für eine Ausgleichsgrade mit 2 Parametern ist $I = 2$. Bei traditionellen Messungen liegt N in der Größenordnung um 10, bei automatisierten Messungen kann N einige 10^3 erreichen, d. h., k überstreicht einen weiten Wertebereich.

Der Student-Faktor $t(P; k)$ berücksichtigt, daß die Meßunsicherheit u_f t-verteilt ist und erst für sehr große k normalverteilt vorliegt. Bereits wissenschaftliche Taschenrechner, zunehmend jedoch die Klein- und Personalcomputer, liefern bei Ausgleichsrechnungen, z. B. bei der sehr häufigen Mittelwertbildung, die Standardabweichung s. Der t-Faktor muß heute noch Tabellen entnommen werden, da er nur recht aufwendig zu berechnen ist. Für kleine k nimmt $t(P; k)$ rasch ab, um sich dann schwach veränderlich für $k \to \infty$ dem asymptotischen Wert $t_\infty(P)$ zu nähern. Deshalb sind die Tabellen nicht äquidistant geteilt. Das erschwert eine einfache Interpolation mit dem Rechner. Wünschenswert ist eine einfache Näherungsformel, die vom Programmaufwand etwa einer Zeile in BASIC oder einer Anweisungsfunktion in FORTRAN entspricht.

In [1] sind die t-Faktoren so angegeben, daß sie mit einem relativen Fehler von wenigen % entnommen werden können. Der erforderliche relative Fehler der Näherung kann durch 2 Überlegungen festgelegt werden. Da die zufälligen Fehler natürlich selbst fehlerbehaftet sind und auch bei Präzisionsmessungen wohl kaum genauer als auf etwa 10% ermittelt werden, sollte in der Meßtechnik ein relativer Fehler des t-Faktors von etwa 5% tolerierbar sein. Der andere Standpunkt würde beinhalten, daß bei einer mathematisch eindeutigen Zahl nur geringe zusätzliche Näherungsfehler auftreten dürfen, etwa unter 1%. Für beide Fälle und für die 4 wichtigsten Werte der statistischen Sicherheit P wurden Näherungen ermittelt. Mit $P = 68{,}3\%$ ($t_\infty = 1$) wird vorwiegend in der Mathematik und Physik gearbeitet. Technik und Industrie bevorzugen $P = 95\%$ ($t_\infty = 1{,}96$). In Medizin und Biologie sind die höheren Vertrauensniveaus von $P = 99\%$ ($t_\infty = 2{,}576$) und $P = 99{,}73\%$ ($t_\infty = 3$) gebräuchlich.

1. Lösungsweg

Trägt man $t(P; k)$ doppeltlogarithmisch auf, dann wird eine Faktorisierung $t = t_\infty \cdot f(P; k)$ nahegelegt. Für große k geht $f(P; k)$ gegen 1. Für die Funktion $f(P; k)$ bewährt sich der Ansatz

$$f(P; k) = \exp(\exp(P_I(m))) . \tag{1}$$

Dabei ist $P_I(m)$ ein Polynom $(I - 1)$. Ordnung in m. Die Variable

$$m = \ln(\ln(k + a)) \tag{2}$$

enthält den Freiheitsgrad k. Die additive Konstante a soll das Verfahren für $k = 1$ lauffähig erhalten. Es wurde mit $a = 1$, 2 und 3 gearbeitet. Für $P_I(m)$ als Gerade wurde a auch als 3. Parameter angepaßt. Der Polynomgrad ging bis maximal zur 3. Ordnung.

Die Koeffizienten P_i des Polynoms wurden nach dem Gaußschen Ausgleichsverfahren ermittelt. An Stützstellen wurden immer die Werte $t(P; k)$ für $k = 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60$ und 120, also 14 Wertepaare, verwendet. Dabei wurden die Werte mit 4 gültigen Dezimalstellen eingegeben. Da $t(P; k)$ als Faktor verwendet wird, sollte sein relativer Fehler klein sein. Das ist auf 2 Wegen zu erreichen. Einmal kann man mit Gewichten $W_n = 1/t^2(P; k)$ arbeiten und dadurch die relativen Fehler erzeugen. Einfacher ist es, die bekannte Tatsache zu nutzen, daß nach einmaligem Logarithmieren der Werte $t(P; k)/t_\infty$ in guter Näherung die Quadrate der relativen Fehler minimiert werden. Die nichtlineare Minimierung ist mathematisch kein Problem. Ihre Ergebnisse sind tatsächlich besser als die lineare Minimierung der zweimal logarithmierten Werte mit einem Polynom $P_I(m)$. Alle Rechnungen erfolgten am Kleincomputer KC 87 (KC 85/1).

Der folgende Abschnitt stellt die Ergebnisse vor. Für jede Näherung wird der maximale Fehler $e(k_{max})$ und der maximale relative Fehler $r(k_{max})$ angegeben. Sind die Fehler negativ, dann ist das durch die Betragsbildung verdeutlicht. Zuerst wird jeweils die ungenauere Näherung mit weniger Parametern angegeben. Die minimierte Größe $s^2 = Q/k$ gibt etwa das mittlere Quadrat der relativen Fehler wieder.

2. Ergebnisse

2.1. Vertrauensniveau $P = 68{,}3\%$

Für das Vertrauensniveau $P = 68{,}3\%$ ergibt sich

$$t_{68\%} = \exp(\exp(-2{,}75m - 0{,}53)) \tag{3}$$

mit

$$m = \ln(\ln(k + 1{,}69)) . \tag{4}$$

Dazu gehören $s^2 = 1{,}16 \cdot 10^{-5}$, $e(2) = 0{,}0054$ und $r(5) = |-0{,}41|\,\%$. Genauer ist

$$t_{68\%} = \exp(\exp(((-0{,}96m + 1{,}835)\,m - 3{,}9788)\,m - 0{,}1384)) \tag{5}$$

mit

$$m = \ln(\ln(k + 2)) . \tag{6}$$

Hier sind $s^2 = 1{,}72 \cdot 10^{-7}$, $e(2) = 0{,}0008$ und $r(3) = |-0{,}062|\,\%$. Die Abweichungen liegen bereits im Rundungsfehler der Stützstellen. Das gilt auch für die folgenden besseren Approximationen.

2.2. Vertrauensniveau $P = 95\%$

Für $P = 95\%$ bietet sich

$$t_{95\%} = 1{,}96 \exp(\exp(-2{,}81m + 0{,}44)) \tag{7}$$

an mit

$$m = \ln(\ln(k + 1{,}55)) , \tag{8}$$

$$s^2 = 5{,}20 \cdot 10^{-5},\ e(2) = 0{,}053 \text{ und } r(2) = 1{,}2\% .$$

Besser ist

$$t_{95\%} = 1{,}96 \exp(\exp(((-0{,}988m + 2{,}07)\,m - 4{,}443)\,m + 1{,}0258)) \tag{9}$$

mit

$$m = \ln(\ln(k + 2)) , \tag{10}$$

$$s^2 = 4{,}78 \cdot 10^{-7},\ e(2) = 0{,}0048 \text{ und } r(2) = 0{,}11\% .$$

2.3. Vertrauensniveau $P = 99\%$

Die Rechnungen liefern für $P = 99\%$

$$t_{99\%} = 2{,}576 \exp(\exp(-2{,}94m + 1{,}04)) \tag{11}$$

mit

$$m = \ln(\ln(k + 1{,}611)) , \tag{12}$$

$$s^2 = 9{,}10 \cdot 10^{-5},\ e(1) = |-0{,}93| \text{ und } r(1) = |-1{,}5|\,\% .$$

Besser ist

$$t_{99\%} = 2{,}576 \exp(\exp(((-0{,}804m + 1{,}7)\, m - 4{,}3211)\, m + 1{,}55743)) \quad (13)$$

mit

$$m = \ln(\ln(k + 2)), \quad (14)$$

$s^2 = 3{,}42 \cdot 10^{-8}$, $e(1) = |-0{,}0023|$ und $r(3) = |-0{,}039|$ %.

3.4. Vertrauensniveau $P = 99{,}73\%$

Der Fall $P = 99{,}73\%$ kann mit

$$t_{99{,}73\%} = 3 \exp(\exp(-3{,}04m + 1{,}434)) \quad (15)$$

gelöst werden. Dabei sind

$$m = \ln(\ln(k + 1{,}684)), \quad (16)$$

$s^2 = 1{,}19 \cdot 10^{-4}$, $e(1) = |-0{,}667|$ und $r(2) = 1{,}56\%$.

Die genauere Lösung lautet

$$t_{3\sigma} = 3 \exp(\exp(((-0{,}667m + 1{,}392)\, m - 4{,}1629)\, m + 1{,}85323)). \quad (17)$$

Dabei ist

$$m = \ln(\ln(k + 2)). \quad (18)$$

Es folgen

$s^2 = 1{,}24 \cdot 10^{-7}$, $e(2) = |-0{,}004|$ und $r(205?) = 0{,}074\%$.

Ob der relative Fehler genau bei $k = 205$ maximal ist, wurde bei der vorzüglichen Näherung nicht weiter verfolgt.

Zusammenfassung

Mit den vorstehenden Näherungen für den Studentschen t-Faktor wird erstmalig eine Lösung vorgestellt, die sehr wenig Speicherplatz und kaum Rechenzeit erfordert. Selbst mit einem wissenschaftlichen Taschenrechner ist die Rechnung bequem ausführbar, besonders wenn der Rechner einen Konstantenspeicher für die Hilfsvariable m besitzt.
Die erreichte Genauigkeit ist mehr als ausreichend. Die Funktionen müssen monoton fallen. Man rechnet leicht nach, daß bei den angegebenen Näherungen mit kubischen Parabeln tatsächlich keine Extremwerte vorkommen.
Es erscheint überlegenswert, ob die angegebenen Approximationen oder deren eventuelle weitere Verbesserung künftig in den Standards berücksichtigt werden sollten.

Literatur

[1] TGL 31 550/08: Grundbegriffe der Metrologie, Beschreibung der Meßgenauigkeit; 1,80 (Entwurf 6.81).

msr 8774 Prof. Dr. sc. nat. D. Netzband, TU Dresden, Sektion Energieumwandlung

Elektroakustische Messungen an Ultraschallwandlern mit dem Laufzeit-Spektral-Verfahren

0. Einleitung

Zur Bestimmung der elektroakustischen Eigenschaften von Ultraschallwandlern ist u. a. die Schallverteilung im Übertragungsmedium zu messen. Für Ultraschall-Diagnostik-Wandler bietet sich infolge der weitestgehenden Übereinstimmung der akustischen Impedanz von Körpergewebe und Wasser als Prüfmedium Wasser an. Bei Schallfeldmessungen kommen als grundlegende Meßmethoden Hydrophon- und Echomessungen in Frage. Damit sind quasipunktförmige Schalldruckmessungen möglich.
Mit dem beschriebenen Laufzeit-Spektral-Verfahren ergeben sich für beide Meßmethoden apparative und meßtechnische Vorteile.

1. Schallfeldmessungen

Zur punktförmigen Abtastung der Schallfelder von Ultraschallwandlern im Wasserbad werden je nach Methode Ultraschallhydrophone oder Reflektoren (z. B. Stahlkugeln) eingesetzt. Für Hydrophonmessungen werden sehr breitbandige Empfänger benötigt. Dazu stehen piezoelektrische Folien (PVDF) zur Verfügung. Diese lassen die Herstellung von Hydrophonen bis unter 1 mm Durchmesser zu [5]. Die Anwendung von Hydrophonen für die Bestimmung der Schallfeldcharakteristik gestattet die Verwendung sowohl von Dauerschall als auch von Burst-Impulsen, wobei mit letzteren durch Multiplikation des Empfangssignals mit dem Signal eines geeigneten periodischen Zeittores eine starke Minimierung des Einflusses von Störimpulsen und des elektrischen Übersprechens möglich ist.
Bei dem Dauerschallverfahren ist auf eine gute akustische Isolierung des Meßtroges zu achten (Auskleidung mit schallabsorbierenden Materialien).
Beim herkömmlichen Impuls-Echo-Verfahren kann nicht mit Dauerschall gearbeitet werden. Es kommen nur Burst-Impulse oder Nadelimpulse in Frage. Nachteilig bei der Anwendung der Burst-Methode ist hier die eingeschränkte Auflösbarkeit im Nahfeld des zu testenden Wandlers infolge der teilweisen Überlappung von Sende- und Empfangssignal [2]. Verbesserung findet dieses Verfahren durch die Verwendung von sehr breitbandigen Nadelimpulsen (Avalanche-Generator). Dabei muß das am Sende-Empfangs-Wandler anliegende Zeitsignal zur Separierung des interessierenden Empfangssignals mit dem Signal eines geeigneten periodischen Zeittores multipliziert werden. Die Auswertung dieses erhaltenen Signals erfolgt mit Hilfe eines Spektralanalysators im interessierenden Frequenzbereich.
Außer bei der letzten beschriebenen Methode ist zur Bestimmung der frequenzabhängigen Schallfeldcharakteristik die Variation der angelegten Trägerfrequenz nötig.

2. Grundprinzip des Laufzeit-Spektral-Verfahrens

Legt ein Schallsignal in einem Medium der Schallgeschwindigkeit c zwischen Sender und Empfänger die Strecke s zurück, so ergibt sich zwischen dem Sende- und dem Empfangssignal die Phasenverschiebung Δt von:

$$\Delta t = s/c. \quad (1)$$

Verändert sich die Sendefrequenz mit der Zeit bei gegebener „Frequenzänderungsgeschwindigkeit" $\Delta F/\Delta T$ (Wobbel-Prinzip), so ergibt sich zwischen dem Sende- und dem Empfangssignal ebenfalls ein Frequenzunterschied Δf:

$$\Delta f = \Delta t \frac{\Delta F}{\Delta T}. \quad (2)$$

Aus (1) und (2) folgt für den Frequenzunterschied

$$\Delta f = \frac{s \cdot \Delta F}{c \cdot \Delta T} \quad (3)$$

mit dem Frequenzhub ΔF und der Ablenkzeit ΔT.

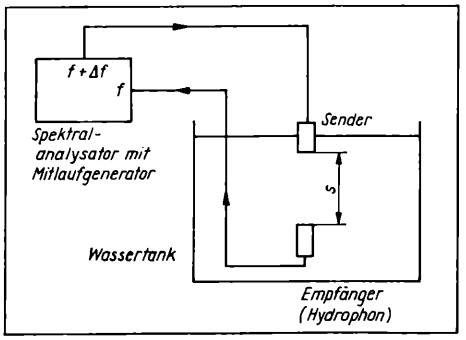


Bild 1. Meßanordnung mit getrenntem Sender und Empfänger (Hydrophon-Betrieb)

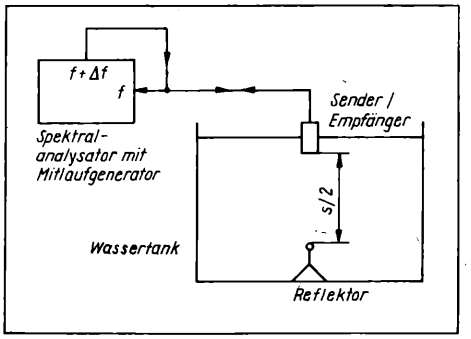


Bild 2. Meßanordnung im Echobetrieb

Das Laufzeit-Spektral-Verfahren basiert also auf der Transformation der Laufzeit eines Schallsignals in eine Frequenzablage bei zeitlich konstanter Variation der Sendefrequenz. Damit wird die Auflösbarkeit im Zeitbereich proportional zur Selektivität im Frequenzbereich mit der „Frequenzänderungsgeschwindigkeit" als Proportionalitätsfaktor [3].

Wird an den Ultraschallempfänger ein Spektralanalysator und an den Ultraschallsender dessen Mitlaufgenerator (einstellbarer positiver Frequenz-Offset) angeschlossen, lassen sich bei entsprechend gewählter Analysatorbandbreite die störenden Effekte, wie Mehrfachwegausbreitung, stehende Wellen u. ä., unterdrücken. Den gewählten Aufbau zeigt Bild 1.

Besonders vorteilhaft ist dieses Verfahren im Echobetrieb, in (3) ist dann für die Entfernung s die Laufstrecke $2s$ zu setzen. Den prinzipiellen Aufbau zeigt Bild 2.

Der Mitlaufgeneratorausgang wird mit dem Analysatoreingang verbunden. Daran wird der Sende-/Empfangswandler angeschlossen. Der Ultraschallwandler wird hier also zeitgleich als Sender und Empfänger betrieben. Es ist dabei darauf zu achten, daß der Wandler nicht durch zu hohe angelegte Sendespannung im nichtlinearen Bereich arbeitet, was die Anwendung des Superpositionsprinzips verbieten würde.

Bei der Anwendung des Spektral-Laufzeit-Verfahrens im Echobetrieb sind weder ein gesonderter Sendeimpulsgenerator noch ein Zeittor im Empfangsweg notwendig. Damit werden in einem Meßvorgang bei entsprechender Wahl des Frequenzhubes ΔF Breitbandmessungen möglich. Bei entsprechend gewählten Größen nach (3) läßt sich das Empfangssignal vom Sendesignal sicher trennen. Auch Störsignale, die ja alle eine andere Laufzeit als das Empfangssignal aufweisen, lassen sich gut unterdrücken.

3. Anwendung des Verfahrens

3.1. Wandlerkalibrierung und Empfindlichkeitsmessungen

Auch in der Ultraschalldiagnostik gewinnt die Frage der Sicherheit immer mehr an Bedeutung. Dazu ist es notwendig, einen oberen Wert für den im Übertragungsmedium auftretenden Schalldruck in Abhängigkeit von der an den Diagnostikwandler angelegten Sendespannung anzugeben. Man benutzt als Empfänger in diesem Fall ein geeichtes Ultraschall-Hydrophon, dessen Eichkurve die Empfindlichkeit in µV/Pa in Abhängigkeit von der Frequenz angibt. Damit wird die Senderempfindlichkeit des zu prüfenden Wandlers unmittelbar bestimmt. Wird das Hydrophon exakt an seiner Stelle durch den zu prüfenden Wandler ersetzt und anschließend ein Vergleich der beiden empfangenen Spannungen durchgeführt, läßt sich die Empfängerempfindlichkeit bestimmen [4]. Als Sender dient in diesem Fall ein beliebiger anderer Wandler des interessierenden Frequenzbereichs.

3.2. Qualitätskontrolle von Ultraschalldiagnostik-Wandlern

Neben der elektrischen Wandlerprüfung [1] und der eben beschriebenen Bestimmung der Sender- und Empfängerempfindlichkeit ist für eine genaue Qualitätskontrolle die Kenntnis des frequenzabhängigen Schallfeldes erforderlich. Da Ultraschalldiagnostik-Wandler i. allg. im Impuls-Echo-Betrieb arbeiten, kommt hier das Laufzeit-Spektral-Verfahren mit einer Stahlkugel als annähernd punktförmigem Reflektor zur Anwendung. Über einen rechnergesteuerten X-Y-Z-Manipulator für den Meßwandler oder den Kugelreflektor läßt sich automatisch die Schallfeldcharakteristik bestimmen.

Außerdem werden Meßwerte in einer Entfernung von a^2/λ (a Wandlerradius) bestimmt. Diese Entfernung entspricht dem Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld, und an dieser Stelle hat das Schallfeld für einen unfokussierten Wandler die größte Einschnürung. Diese Meßwerte sind:

- die Mittenfrequenz f_0, d. h. die Frequenz, bei der die Empfangsspannung ein Maximum erreicht
- die 6-dB-Frequenzen f_1, f_2, d. h. die Frequenzen, bei denen die Empfangsspannung auf die Hälfte gegenüber dem Maximum bei f_0 abgefallen ist
- die 6-dB-Bandbreite $B = f_2 - f_1$
- der Gütefaktor $Q = \dfrac{f_0}{f_2 - f_1}$.

Ein von der axialen Auflösung her gut geeigneter Diagnostikwandler muß eine möglichst große Bandbreite bzw. möglichst geringe Güte aufweisen. Mit guten Ultraschallwandlern werden Bandbreiten bis über 60% der Mittenfrequenz, d. h. eine Güte $< 1{,}7$, erreicht.

Zusammenfassung

Das Laufzeit-Spektral-Verfahren stellt bei Vorhandensein eines Spektralanalysators mit frequenzverschiebbarem Mitlaufgenerator eine effektive Methode für viele verschiedene Messungen im Schallfeld eines Ultraschallwandlers dar. Dabei sind beim statischen Betrieb ohne weiteres Breitbandmessungen möglich, die äquivalent dem Impuls-Echo-Betrieb bei der praktischen Anwendung von Ultraschalldiagnostik-Wandlern sind. Durch eine einfache elektrische Umschaltung zwischen Hydrophon- bzw. Echobetrieb sind mit dem beschriebenen Verfahren Messungen der Schallfeldcharakteristik, der Beugungsverlustfunktion sowie der Sender- und der Empfängerempfindlichkeit von Ultraschallwandlern möglich.

Literatur

[1] Lange, P.; Richter, K.-P.: Verfahren zur meßtechnischen Erfassung der Admittanzfunktion von elektrischen Zweipolen. msr, Berlin 28 (1985) 9, S. 410—411.

[2] Ericson, K. R.: Tone-burst testing of pulse echo transducer. IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. SU-26 (1979) 1, pp. 7—14.

[3] Lewin, P. A.: Calibration and performance of evaluation of miniature ultrasonic hydrophones using time delay spectroscopy. Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1981, pp. 660—664.

[4] Gururaja, T. R.; Schulze, W. A.; Cross, L. E.; Newnham, R. E.: Piezoelectric Composite Materials for Ultrasonic Transducer Applications. Part II: Evaluation of Ultrasonic Medical Applications. IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. SU-32 (1985) 4, pp. 499—513.

[5] Richter, K. P.; Danz, R.: Ultraschallhydrophon PVDF-1. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Experimentelle Methoden und wissenschaftlicher Gerätebau, Nr. 84/24, S. 1—7.

msr 8789 Dipl.-Phys. P. Lange und Dr. rer. nat. K.-P. Richter, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Angewandte Biophysik

13. Leipziger Automatisierungskolloquium zur rechnergestützten Projektierung von Automatisierungsanlagen

msr berichtete schon mehrfach über die eintägigen Kolloquien, die die Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig mit ihren Leipziger Praxispartnern gestaltet und der Bezirksvorstand der KDT organisiert. Innerhalb der zwanglosen Reihe hat inzwischen jeweils im Oktober die rechnergestützte Projektierung ihren festen Platz (siehe auch msr 29 (1986) 6, S. 234; 30 (1987) 4, S. 184).

Einleitend stellte W. BENNEWITZ das am Industrie-Hochschulkomplex Anlagenautomatisierung entwickelte modulare Konzept *auprocad* vor. Dabei wurden insbesondere der Fertigstellungs- bzw. Überführungsgrad der konzipierten Module und die Weiterentwicklung für 16-bit-Arbeitsplatzrechner behandelt. Die Diskussion dazu ging besonders darauf ein, daß die technischen Möglichkeiten der Automatisierungssysteme aus verteilten Mikrorechnern zukünftig als zusätzliche neue Projektinhalte eine Bedienkonzeption und die Projektierung der Zuverlässigkeit erfordern. Das schlägt sich in der Notwendigkeit entsprechender weiterer CAD-Module nieder.

Tafel. Übersicht zu auprocad-8 und -16

Modul-Nr. (Kurzbezeichnung)	Bezeichnung	Beschreibung
1. (msr)	MSR-Stellenliste	msr, Berlin 30 (1987) 6
2. (fkt)	Funktionsschaltplan (FSP)[1]	msr, Berlin 29 (1986) 10 msr, Berlin 30 (1987) 6
2/7 (fkt-vdr)	Koppelprogramm Funktionsschaltplan/Verdrahtungsunterlagen	
3. (ber.)	Berechnung	
3.1. (ber.-st)	Berechnung Stellglieder	msr, Berlin 30 (1987) 6
3.2. (ber.-mb)	Berechnung Meßblenden	
3.3. (ber.-ad)	Berechnung Schwebekörperdurchflußmesser	
4. (bst)	Binärsteuerung	msr, Berlin 30 (1987) 6
5. (arl.)	Ausrüstungsliste	
5.1. (arl.-1)	Ausrüstungsliste Stufe 1	demnächst in msr
5.2. (arl.-2)	Ausrüstungsliste Stufe 2	demnächst in msr
5.3. (arl.-3)	Ausrüstungsliste Stufe 3[3]	demnächst in msr
6. (zer-bl)	ZER-Belegung	msr, Berlin 30 (1987) 6
7. (zer-vd)	ZER-Verdrahtung	msr, Berlin 30 (1987) 6
8. (afg)	Aufgaben-Abgrenzung	
9. (adc)	audatec	
9.1. (adc-hw)	audatec-Hardware[2]	
9.2. (adc-sf)	audatec-Software[3]	
10. (mak)	Prüfung Bedienkonzeption	

[1] maßgebliche Beteiligung EAB/ZFT; [2] maßgebliche Beteiligung GRW Teltow; [3] Einsatz von Expertensystemen vorgesehen

CH. MEISCHNER berichtete über den Stand der Arbeiten zur rechnergeführten MSR-Stellenliste. In der Diskussion wurde ein Koordinierungsdefizit deutlich, das umgehend zwischen den beteiligten Partnern auszugleichen ist.

F. GRELL trug zur rechnergestützten Hardwarekonfigurierung von audatec-Anlagen vor.

Zu den früher vorgestellten Modulen „Funktionsschaltplan" und „Verdrahtungsunterlagen" berichtete A. ZÖTZSCHE über die rechentechnische Kopplung dieser Module. Damit ist ein weiterer Schritt zur Verknüpfung der zunächst als Insellösung genutzten Teile in Richtung auf ein durchgängiges System vollzogen.

U. BÖRNER und J. NEBE zeigten den Fortschritt an der Arbeit mit dem ESBAST für den Modul „Ausrüstungsliste".

L. FÖRSTER berichtete über Erfahrungen mit dem System zur Steuerungsprojektierung für die Automatisierung in einem Reichsbahnausbesserungswerk. Er hob deutlich hervor, wie wichtig die prüfgerechte Notierung der Aufgabenstellung (siehe auch msr 30 (1987) 6) für den Effekt der Lösung ist.

Die meisten Vorträge wurden von Rechnervorführungen begleitet. Im Auditorium standen dazu 12 verteilte Bildschirme zur Verfügung. Für den Datenbankhintergrund war eine Datenfernübertragung zum Rechner I 100 der THL geschaltet.

Einen Überblick über das Gesamtkonzept des modularen CAD-Systems zeigt die Tafel.

msr 8800 R. MÜLLER, W. BENNEWITZ

Fachtagung Automatisierung Dresden 1988

Rund 900 Teilnehmer aus der Industrie, den Akademien, Universitäten und Hochschulen der DDR sowie Gäste und Vortragende aus 9 Ländern besuchten vom 3. bis 5. Februar 1988 die vom Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik der Sektion Informationstechnik der Technischen Universität Dresden ausgerichtete Fachtagung „Automatisierung Dresden 1988", die im Abstand von 4 Jahren stattfindet.

Das vielseitige Programm der Tagung unterstrich mit 5 Plenarvorträgen, 165 Vorträgen in 10 Fachsektionen (FS1 — Automatisierungskonzepte und -strategien; FS2 — Softwareprobleme/Expertensysteme/Mensch-Maschine-Kommunikation; FS3 — Geräte und Gerätesysteme; FS4 — Fertigungsautomatisierung; FS5 — Roboter; FS6 — Automatisierung von Prozessen der Landwirtschaft und Biotechnologie; FS7 — Automatisierung der experimentellen Forschung; FS8 — Automatisierung energietechnischer Prozesse; FS9 — Automatisierung verfahrens- und verarbeitungstechnischer Prozesse; FS10 — Technische Diagnose und Therapiesteuerung) und in 2 Rundtischgesprächen (zum Verhältnis von Prozeß- und Fertigungsautomatisierung und zur automatisierungstechnischen Laborausbildung) die zunehmende Breitenanwendung und Leistungsfähigkeit sowie den immer deutlicher werdenden Querschnittscharakter der Automatisierungstechnik. Deshalb orientierte der Veranstalter dieser Fachtagung auch auf eine gewisse Tiefe und Breite der zur Diskussion zu stellenden Probleme. Dafür sprechen vier Fachsektionen zu methodisch-strategischen Fragen — ohne vordergründigen Anwendungsbezug (Sektionen 1 bis 3 und 10) — und sechs Fachsektionen (Sektionen 4 bis 9), in denen wichtige Anwendungsgebiete der Automatisierung im Vordergrund standen. Der große Umfang förderte die Diskussionen zwischen Automatisierungsspezialisten und Anwendern, brachte den Besuchern jedoch — wie bei allen größeren Tagungen — nicht selten die Qual der Wahl.

Wie traditionell üblich, wurden die Vormittags- und Nachmittagssitzungen mit Plenarvorträgen eröffnet. Sie reichten von Fragen einer automatisierungsgerechten Betriebs-

wirtschaft (Prof. Dr. sc. oec. Dr. h. c. H. KOZIOLEK, Direktor des Zentralinstituts für sozialistische Wirtschaftsführung beim ZK der SED) und Problemen zur Fertigungsautomatisierung (Prof. Dr. sc. techn. H.-J. JACOBS, Rektor der TU Dresden) über die Rolle der 5. Rechnergeneration für die Automatisierungstechnik (Prof. Dr. sc. nat. V. KEMPE, Direktor des ZKI der AdW) und die Entwicklung der Automatisierungsgerätetechnik (Dr.-oec. W. JACOB, Generaldirektor des KEAW und Dr.-Ing. P. SCHMIDT, KEAW) bis zu Aspekten des CAE für die Automatisierungstechnik (Prof. Dr. sc. techn. H. TÖPFER, Wissenschaftsbereichsleiter an der TU Dresden). Im Rahmen dieser Vorträge wurde über Stand, Trend und wirtschaftliche Fragen bei der Automatisierung berichtet und auf zu lösende Aufgaben und Wege ihrer Förderung orientiert.

Insgesamt wurden durch das Auftreten vieler prominenter Fachleute auf dieser Tagung nicht nur die modernen Trends der Automatisierung dargelegt, sondern es konnten auch die für die Volkswirtschaft der DDR wichtigsten Aufgaben sehr sachkundig herausgearbeitet werden.

Die Vorträge und umfassenden Diskussionen machten zugleich deutlich, daß das Feld der Automatisierung heute von spektakulären und zukunftsorientierten Zielprojekten, wie die durch das Endziel CIM charakterisierte Fertigungsautomatisierung oder die Automatisierung großer verfahrens- oder energietechnischer Prozesse, wesentlich beeinflußt wird. Dem aufmerksamen Tagungsbesucher wurde jedoch andererseits auch deutlich, daß volkswirtschaftliche Effekte in Größenordnungen durch den massenhaften Einsatz der Automatisierung im Feld mittlerer und kleinerer Automatisierungsvorhaben nicht nur an Bedeutung gewinnen, sondern wissenschaftlich ebenfalls höchste Ansprüche stellen.

Aus den vielen Spezialvorträgen ließ sich vor allem auch ableiten, daß die Beherrschung der insgesamt zu lösenden breiten Palette von Aufgaben zu wohlproportionierten Aufwendungen in Forschung und Entwicklung bei der Aufbereitung von Mitteln und Werkzeugen zur Lösung von Automatisierungsaufgaben zwingt. Dabei geht es z. B. um Mittel zur Ableitung von Strategien und Methoden, zur Konzipierung, zum Entwurf und zur Projektierung, Modellbildung und Simulation, Hard- und Software-Konfigurierung, Mensch-Maschine-Kommunikation, Prozeßkommunikation, Wartung und Instandhaltung usw. Ein weiteres Kennzeichen der Veranstaltung war schließlich das relativ breite fachliche Spektrum der Teilnehmer und Vortragenden, das von der Betriebswirtschaft über die Naturwissenschaften und die Mathematik sowie die Vielfalt der Ingenieurdisziplinen bis zur Arbeitswissenschaft reichte. Nicht zuletzt werden daran die zunehmende Interdisziplinarität und die Vielfalt der zu lösenden Aufgaben in der Automatisierungstechnik erkennbar.

Daß der relativ dürftige Stand der Kompatibilität und Portabilität moderner Automatisierungsmittel ebenso wie die meist noch vorwiegend konventionelle Meß- und Stelltechnik nach wie vor echte Hemmnisse bei der Breitenanwendung moderner Automatisierungsmittel darstellen, wurde ebenfalls deutlich.

Mit dem anspruchsvollen wissenschaftlichen Niveau sowie den interessanten Beiträgen zu Anwendungen moderner Automatisierungstechnik in unterschiedlichen Fachgebieten trug diese Veranstaltung gleichzeitig wesentlich zur Förderung der interdisziplinären Arbeit innerhalb der Technischen Universität Dresden bei. Dieser Sachverhalt wird durch 46 Vorträge von Angehörigen der TU Dresden aus 11 Sektionen deutlich.

Der Veranstalter bemühte sich gleichzeitig darum, die Diskussion zu gemeinsam interessierenden Fragen bei der Automatisierung kontinuierlicher und diskreter Produktionsprozesse (der Fertigungstechnik) in Gang zu bringen. Für die Zusammenführung beider Linien und das gegenseitige Verständnis ist — wie sich zeigte — noch viel zu tun. Das offenbarten nicht nur die Diskussionen in den Fachsektionen, sondern auch die Rundtischdiskussionen und die Pausengespräche.

msr 8872 H. TÖPFER

Workshop „Information in Manufacturing Automation“

Vom 22. bis 24. Juli 1987 fand in Dresden der V. Bilaterale Workshop DDR—Italien zum Thema „Information in Manufacturing Automation“ statt.

Dieser wechselseitig in der DDR und in Italien stattfindende Workshop wurde vom Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der AdW der DDR organisiert und diesmal international offen gestaltet.

Etwa 90 Teilnehmer aus 13 Ländern hörten 33 Vorträge zu aktuellen Schwerpunkten dieser Thematik:

- Control of Production Systems
- Robotics
- Analysis and Modelling Methods
- Petri Nets
- Computer Aided Design Processes, Including Process Planning and Simulation
- Aspects of CIM and Artificial Intelligence.

Positiv wirkte sich das Vorhandensein von Proceedings auf die Diskussion und die Ergebnisse der Veranstaltung aus. Damit hatten alle Teilnehmer bereits zu Beginn der Veranstaltung eine Konferenzdokumentation zur Verfügung. Das gut organisierte Rahmenprogramm unterstützte die lebhaften Diskussionen.

Die Veranstaltung machte folgende Ergebnisse und Trends sichtbar:

1. Für die Analyse diskreter Prozesse, insbesondere diskreter Fertigungsprozesse, hat sich die „Perturbation Analysis“ als effektives Hilfsmittel herausgestellt. Breit angelegte experimentelle Untersuchungen der jüngsten Zeit haben dies belegt.
2. Der tiefere Grund für die Effektivität der „Perturbation Analysis“ ist noch un-

Bild. Prof. HO (USA), Prof. KEMPE (DDR), Frau HO und Prof. MENGA (Italien) im angeregten Pausengespräch (v. r. n. l.)

bekannt. Hierin ist eine Herausforderung an theoretische Untersuchungen zu sehen.

3. Die Sektion Petri-Netze bot einen guten Überblick über netzorientierte Simulationsmethoden. Sowohl in der DDR als auch in Italien wird intensiv an der Entwicklung entsprechender einsatzbereiter Programmsysteme gearbeitet. Erfahrungen zur Anwendung netzorientierter Methoden auf dem Gebiet der flexiblen Fertigung liegen aber noch nicht vor. Es zeichnet sich ab, daß die in Entwicklung befindlichen Systeme für den praktischen Routine-Einsatz ein noch zu kompliziertes Mensch-Maschine-Interface aufweisen und dementsprechend spezielle anwendungsorientierte Schichten hinzukommen müssen.
4. Die Leistungsfähigkeit der Wissenschaft der DDR konnte besonders gut anhand der Entwicklung eines Systems für den rechnergestützten Entwurf von flexiblen Fertigungssystemen ausgewiesen werden. Hierzu wurde eine ganze Reihe gut aufeinander abgestimmter Vorträge gehalten. Der im ZKI und der TU Karl-Marx-Stadt eingeschlagene Weg in Richtung des Einsatzes grundsätzlich verschiedener Methoden für Entwurfsschritte mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad wurde dargestellt.
5. Vom Polytechnikum Turin wurden für den Entwurf und die Steuerung von flexiblen Fertigungssystemen vorgesehene bzw. zum Einsatz gebrachte Verfahren vorgestellt.
6. Obwohl Probleme 3D-fähiger CAD-Systeme nur durch wenige Vorträge behandelt wurden, gab es auch hierzu eine interessante Diskussion, insbesondere zu Arbeiten auf dem Gebiet der Gruppentechnologie am Polytechnikum Turin, die ständig an Bedeutung zunehmen.

Der Vortragsband kann vom ZKI zu Herstellungskosten bezogen werden.

msr 8780 F. FUCHS

13. Internationales Symposium des IMEKO-TC 2 über Photonendetektoren

Die Symposien des Technischen Komitees 2 (TC 2) der Internationalen Meßtechnischen Konförderation (IMEKO) stehen seit 1986 unter dem Motto „Photonic Measurements". Die Schwerpunkte liegen aber wie bisher bei der Entwicklung und Anwendung von Strahlungsempfängern (optoelektronische Sensoren). Das zurückliegende 13. Symposium vom 14. bis 17. September 1987 in Braunschweig/BRD war zugleich dem 100. Jahrestag der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt gewidmet. Gastgeber war die Abteilung 4 (Optik) der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), die Nachfolger der PTR für das Staatsgebiet der BRD ist.
Das Symposium hatte

- Anwendungen optischer Sensoren in der Radiometrie
- Anwendungen optischer Sensoren in der Fotometrie
- Physik optoelektronischer Sensoren
- faseroptische Sensoren
- Infrarotsensoren und Laser
- Solarzellen
- fotobiologische Anwendungen

zum Gegenstand.
Am Symposium haben etwa 150 Wissenschaftler aus 20 Ländern teilgenommen. Es wurden insgesamt 43 Beiträge, davon 11 halbstündige Vorträge, vorgestellt. Es fand eine intensive wissenschaftliche Diskussion statt. Die PTB öffnete einige Labors für Besichtigungen und zeigte insbesondere Möglichkeiten der automatischen Bildverarbeitung, Dämpfungsmessungen an Lichtwellenleitern, Arbeiten zur Realisierung radiometrischer Standards, zur Goniofotometrie und Ausrüstungen für Messungen an Solarzellen.
Neben eingeladenen Übersichtsvorträgen, die jeweils Ergebnisse eines größeren Kollektivs und einer längeren Entwicklung demonstrierten, war auch eine Reihe neuer Ansätze in der Sensorentwicklung und -anwendung sichtbar. Das Niveau der Beiträge war allgemein hoch, das hinter den Ergebnissen stehende halbleitertechnologische und meßtechnische Niveau (Rechnersteuerung, Eliminierung von Einflußgrößen, Erhöhung der Meßgenauigkeit) ist weiter gewachsen. Vorträge zu Billigtechnologien sind de facto aus dem Programm verschwunden.
Zu ausgewählten Vorträgen der ersten Gruppen sollen folgende Kurzberichte gegeben werden: E. WAGNER (Fraunhofer-Institut für physikalische Meßtechnik, Freiburg/BRD): Im Mittelpunkt standen kommerzielle Sensoren mit Schwerpunkt Silicium und GaInAs für die Automatisierungstechnik und Lichtwellenleitertechnik bei 0,9, 1,3, und 1,55 µm.
K. T. D. GRATTAN (The City University London): Es wurden Fortschritte bei Technologie und Anwendungskonzepten für Lichtwellenleitersensoren für den allgemeinen Gebrauch sowie für spezielle Zwecke, z. B. in der Medizin, bei denen andere Sensoren nicht anwendbar sind, dargestellt.
W. KRÜHLER (Siemens, München/BRD): Der Vortrag betraf Tandem-Solarzellen (Hintereinanderschaltung zweier Zellen, die unterschiedliche Spektralanteile der auffallenden Strahlung ausnutzen, mit dem Ziel der Erhöhung des Wirkungsgrades), neue Konzepte, insbesondere in Kombination von hydrogeniertem amorphem Silicium mit amorphem Silicium-Germanium bzw. Kupferindiumdiselenid bzw. kristallinem Silicium. Die Vorteile und Nachteile von Aufbauten mit zwei bzw. vier Anschlüssen wurden diskutiert, es wurden großflächige Labormuster gezeigt.
W. H. DYER (Honeywell, USA) gab eine Übersicht über integrierte Infrarotsensoren für Anwendungen als starrende Sensoren in der (militärischen) Infrarotfernaufklärung und Infrarotastronomie, insbesondere auf der Basis von HgCdTe für unterschiedliche Wellenlängenbereiche. Kurzberichte zu ausgewählten Vorträgen der zweiten Gruppe sind:
R. SOUNDERS (National Bureau of Standards, Washington) sprach zur radiometrischen Präzisionsbestimmung des Au-Schmelzpunktes mit Hilfe von Absolutempfängern. Dazu wird die Strahlstärke eines Goldpunkt-Schwarzkörpers mit Wärmerohr mit der Strahlstärke einer mit einem Farbstofflaser bestrahlten integrierenden Kugel verglichen. Ziel ist der Anschluß der detektorbezogenen (Silicium-Absolutempfänger bzw. elektrisch kalibrierte Radiometer) und der goldpunktbezogenen radiometrischen Skalen.
G. SAUTER (PTB) referierte über die Gonioradiometrie und die Entwicklung eines 3-Achsen-Goniofotometers (Schwenkwinkel 360°, 180°, 175°) zur Bestimmung der räumlichen Strahlungscharakteristik von Lichtquellen (Polychromator mit holografischem Gitter, 1024er CCD-Zeile als Sensor, Lichtwellenleiter). Die Vermessung moderner Metalldampflampen (Lampenlage horizontal) enthüllte z. T. gravierende Farbunterschiede in den Emissionsrichtungen nach oben (mehr Blauanteil) bzw. nach unten (mehr Rotanteil) infolge Segregation.
B. WEIDNER (ASMW Berlin) verglich verschiedene Typen absoluter Radiometer. Er verwendet ein absolutes Radiometer vom konischen Typ als Primärnormal der Bestrahlungsstärke bzw. ein absolutes Scheibenradiometer für Radiometrie und Fotometrie. Als Sekundärnormale werden Luft-Strahlungsthermoelemente verwendet, die gegenüber den untersuchten Vakuum-Thermoelementen eine wesentlich geringere Alterung zeigen.
R. LINDNER (Universität Erlangen—Nürnberg/BRD) berichtete über Germanium-pin-Dioden mit geringem Leckstrom für Anwendungen im nahen Infrarot. Die Dioden haben eine Rauschäquivalentleistung NEP (T = 85 K) = $9 \cdot 10^{-15}$ W $Hz^{-1/2}$ bei einem Rauschstrom von $I_N = 4 \cdot 10^{-15}$ A $Hz^{-1/2}$ und eine Kapazität C = 75 pF/cm² bei U_R = 1 V.
Der Tagungsband mit dem Text aller gehaltenen Vorträge kann beim IMEKO-Sekretariat (H-1371 Budapest, POB 457) bestellt werden.
Das 14. Internationale Symposium findet voraussichtlich im Jahre 1989 in Warschau statt.

msr 8799 Prof. Dr. sc. nat. K. H. HERRMANN, Vorsitzender des FUA Photoelemente und Schaltungen der WGMA

Wilhelm-Pieck-Universität Rostock Sektion Technische Elektronik

Nach längerer Pause möchten wir Sie, verehrte Leser, wieder einmal mit einer Bildungseinrichtung in der DDR bekannt machen, die für die Meß- und Automatisierungstechnik der DDR wesentliche Leistungen vollbringt. Es handelt sich um die Sektion Technische Elektronik (Bild 1) der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock (ganz speziell dabei um die Wissenschaftsbereiche, die vordergründig im thematischen Profil der msr liegen), die wegen ihrer geografischen Lage und ihrer Kooperationsbeziehungen besonders mit dem maritimen Bereich der DDR-Volkswirtschaft verbunden ist. Als Gesprächspartner (Bild 2) standen Herr Prof. Dr. sc. techn. KARL HORMANN, Herr Prof. Dr. sc. nat. OTTO FIEDLER und Herr Prof. Dr. sc. techn. GÜNTER SCHOMMARTZ zur Verfügung. Zeitweilig war auch Herr Dr.-Ing. WOLFGANG DREWELOW, wissenschaftlicher Oberassistent im WB Automatische Steuerungen, am Gespräch beteiligt.

msr:

Traditionsgemäß soll das Interview damit beginnen, daß Sie sich den Lesern mit ihren wichtigsten beruflichen Stationen vorstellen.

Prof. FIEDLER:

Von 1952 bis 1957 studierte ich an der Universität Rostock Physik. Anschließend war ich als Assistent bei Prof. P. KUNZE am Institut für Experimentelle Kernphysik der TH bzw. TU Dresden tätig. Dort verteidigte ich 1966 meine Dissertation A, die sich mit Wirkungsquerschnitten von Kernfusionsreaktionen beschäftigte. Von 1967 bis 1973 arbeitete ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Hochschuldozent am Institut für Angewandte Physik der TH Karl-Marx-Stadt, das von Prof. CH. WEISSMANTEL geleitet wurde. Dort schloß ich 1972 meine Promotion B ab, die der Ionenzerstäubung und der Herstellung dünner Schichten gewidmet war. Im Jahre 1974 wurde ich zum o. Professor für Theoretische Elektrotechnik an die Wilhelm-Pieck-Universität Rostock berufen und leite seit dieser Zeit an der Sektion Technische Elektronik den WB Allgemeine Elektrotechnik. Ich bin Mitglied des Wissenschaftlichen Rates unserer Universität und des Wissenschaftlichen Rates der HFR Meeresforschung.

Prof. SCHOMMARTZ:

Auch ich studierte von 1952 bis 1957 an der Universität Rostock Physik. Danach war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geräte der Luftfahrtindustrie in Dresden tätig. 1961 wurde ich Assistent bei Prof. F.-H. LANGE am Institut für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik der Universität Rostock, später dann Oberassistent. 1967 verteidigte ich meine Dissertation A, die der induktiven Strömungsmeßtechnik gewidmet war. Meine Dissertationsschrift B aus dem Jahre 1973 wurde unter dem Titel „Induktive Strömungsmesser" übrigens im Verlag Technik verlegt. 1973 wurde ich zum Hochschuldozenten für Meßtechnik und 1980 zum o. Professor für Informationstechnik (Meßtechnik) an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock berufen. Von 1980 bis 1987 leitete ich den WB Informationstechnik unserer Sektion und übte von 1983 bis 1987 die Funktion des stellvertretenden Sektionsdirektors für Forschung aus. Seit diesem Jahr bin ich Leiter der Arbeitsgruppe Akustik in der Physikalischen Gesellschaft der DDR.

Prof. HORMANN:

Von 1950 bis 1954 studierte ich an den Ingenieurschulen Wismar und Mittweida Elektrotechnik. Danach war ich bis 1956 als Entwicklungsingenieur in der Schiffbauindustrie tätig. Ab 1956 wirkte ich als Assistent und Oberassistent am Institut für Elektrische Antriebe und Anlagen von Schiffen der Universität Rostock. 1959 legte ich ein externes Diplomexamen ab. Meine Promotion A (1965) beschäftigte sich mit der Stabilität von elektrischen Systemen. 1967 wurde ich mit dem Aufbau einer Abteilung Regelungstechnik an unserer Universität beauftragt, und 1969 wurde ich für dieses Fachgebiet zum Hochschuldozenten berufen. Meine Dissertationsschrift zur Promotion B erschien übrigens auch unter dem Titel „Direkte Stabilitätsverfahren" im Verlag Technik. Von 1974 bis 1986 war ich Sektionsdirektor unserer Sektion Technische Elektronik. 1977 wurde ich zum o. Professor für Theorie der Automatischen Steuerungen berufen. Ich bin seit 1973 Mitglied des Kooperationsrates Technische Kybernetik und Mitglied des Wissenschaftlichen Rates der WPU Rostock.

msr:

Bitte geben Sie einen kurzen Überblick über die Entwicklung Ihrer Universität.

Prof. HORMANN:

Das Gründungsdatum der Universität Rostock geht in das Jahr 1419 zurück. Damals, genaugenommen bis zur Entstehung der DDR, waren ausschließlich klassische Fakultäten an der Universität angesiedelt. Im Jahre 1951 kam es aufgrund eines Beschlusses von Partei und Regierung zur Gründung einer Schiffbautechnischen Fakultät an der Universität Rostock. Es war dies die erste technische Fakultät im Verband einer deutschsprachigen Universität. In den folgenden Jahren kam es im Zuge der raschen Entwicklung des Maschinenbaus für den Schiffbau, der zunehmenden Rolle der Elektrotechnik/Elektronik und der durchgreifenden Industrialisierung der Landwirtschaft zu einer Erweiterung und Ergänzung dieser Fakultät. Ausdruck dafür waren neu ge-

Bild 1. Gebäude der Sektion Technische Elektronik
vorderer Teil: Labore, hinterer Teil: Leitung und Verwaltung

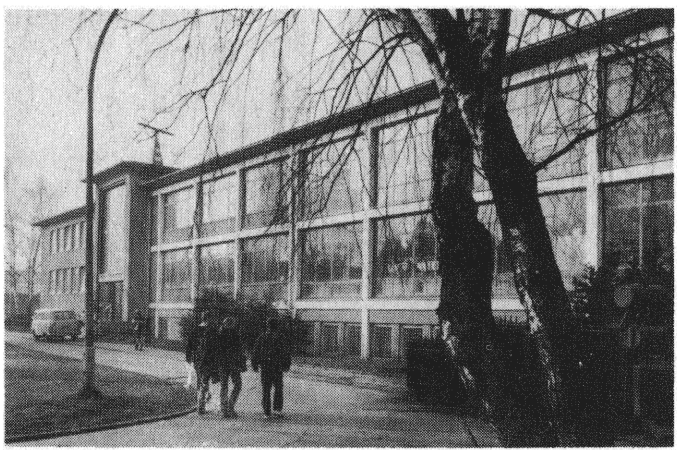


Bild 2. Interviewpartner
v. l. n. r.: Prof. SCHOMMARTZ, Prof. HORMANN, Prof. FIEDLER

gründete Lehrstühle, die die Belange der Elektrotechnik, der Elektronik, des Maschinenbaus, der Landmaschinentechnik und der Technischen Mechanik vertraten. Mit der 3. Hochschulreform und ihren beträchtlichen Auswirkungen auf die Lehrprogramme im Hochschulwesen kam es 1969 zur Bildung von drei Sektionen aus der vorherigen Fakultät, die nun in eigener Regie die zugeordneten Bildungs- und Erziehungsaufgaben wahrnahmen. Es waren dies die Sektionen

— Schiffstechnik
— Landtechnik
— Technische Elektronik.

Mit der Gründung der Sektion Technische Elektronik gingen durch die Bildung von Wissenschaftsbereichen aus den ehemaligen Instituten strukturelle und inhaltliche Änderungen einher. Anfang des Jahres 1975 wurde anläßlich des Geburtstages des ersten Präsidenten der DDR unserer Universität der Name Wilhelm-Pieck-Universität Rostock verliehen.
Heute setzt sich die Universität aus 18 Sektionen (der Bogen ist dabei von den Gesellschaftswissenschaften über Pädagogik und Psychologie, den klassischen Naturwissenschaften oder den Sportwissenschaften bis hin zur Agrarwirtschaft und der Tier- und Pflanzenproduktion sowie den bereits oben genannten Sektionen gespannt), einem Bereich Medizin und einigen Instituten (Fremdsprachen, Industrieinstitut) zusammen. Es sind etwa 6000 Studenten immatrikuliert.

msr:

In Ihren Ausführungen klang ja schon einiges Grundsätzliches zur Sektion Technische Elektronik an. Bitte vertiefen Sie das in Form eines Überblicks.

Prof. HORMANN, Prof. SCHOMMARTZ, Prof. FIEDLER:

Im Gründungsprozeß der Sektion wurden folgende Wissenschaftsbereiche installiert und ausgebaut:

— WB Allgemeine Elektrotechnik (heutiger Leiter: Prof. FIEDLER)
— WB Energiewandler (heutiger Leiter: Prof. Dr. sc. techn. SIEGFRIED THAMM, gleichzeitig Sektionsdirektor)
— WB Automatische Steuerungen (heutiger Leiter: Prof. HORMANN)
— WB Informationstechnik (heutiger Leiter: Doz. Dr. sc. techn. WERNER BARNICK)
— WB Schaltungstechnik (heute Computertechnik; Leiter: Prof. Dr. sc. techn. BERND MÜNZER).

Der Entwicklung folgend wurde die Sektion neuerdings durch folgende Struktureinheiten ergänzt:

— WB Elektronik im Sonderschiffbau (Leiter: Kapitän zur See HARALD THOMAS)
— Abteilung Konstruktion und Technologie der Elektrotechnik/Elektronik (Leiter: Doz. Dr. sc. techn. WOLFGANG FREDRICH).

Wir bilden in erster Linie Direktstudenten aus (jährlich etwa 70 mit steigender Tendenz), betreuen aber auch Fernstudenten der TU Dresden und der TU Magdeburg im Grundstudium. Darüber hinaus bieten wir ein 2jähriges postgraduales Studium „Mikrorechneranwendungen in der Automatisierungstechnik" an.
Unsere Ausbildung für die Direktstudenten erfolgt ausschließlich in der Fachrichtung 14002 (Automatisierungstechnik). Der Lehrkörper setzt sich aus 15 Hochschullehrern (8 Professoren, 7 Dozenten) und etwa 45 wissenschaftlichen Mitarbeitern zusammen. Die Studiendauer umfaßt $4^1/_2$ Jahre (9 Semester, wovon das 7. für das Ingenieurpraktikum und das 9. für die Diplomarbeit vorgesehen sind).

msr:

Bitte machen Sie einige weiterführende Aussagen zu den Lehrinhalten und den Vertiefungsrichtungen.

Prof. SCHOMMARTZ:

Wir sehen als Besonderheit unserer Ausbildung an, daß wir uns um die Schaffung der Grundlagen zur Automatisierung mittelgroßer Systeme unter Einbeziehung der Meß-, Stell-(Antriebs-), Informations-, Rechen- und Gerätetechnik auf elektrotechnisch-elektronischer Basis bemühen. Charakteristisch ist dafür die Synthese von leistungselektronischen und informationselektronischen Aspekten, verkoppelt mit der Computertechnik und der Technischen Kybernetik. Dabei bieten wir in der Ausbildung zwei Vertiefungsrichtungen an. Die eine ist in Richtung Meßtechnik/Sensorik, die andere in Richtung Automatisierungsgeräte und -anlagen orientiert.
Im Hinblick auf die seit einigen Jahren erhobene Forderung nach einer Neugestaltung der Ingenieurausbildung bemühen wir uns in der Lehre (im Gegensatz zur Forschung, die zum weitaus überwiegenden Teil in Richtung Schiffbau zielt) nicht unbedingt um eine schiffbauspezifische Gestaltung (wenn auch in der Spezialausbildung die Beispiele überwiegend aus dem maritimen Bereich gewählt werden), sondern versuchen, multivalent einsetzbare Ingenieure auszubilden.
Hinsichtlich der für die msr-Leser vordergründig interessierenden Themen sind in erster Linie die Wissenschaftsbereiche Automatische Steuerungen, Informationstechnik und Allgemeine Elektrotechnik zuständig.

msr:

Dann sollten wir jetzt auch speziell über diese Wissenschaftsbereiche sprechen.

Prof. HORMANN:

Im WB Automatische Steuerungen stehen Probleme der Identifikation technischer Systeme, der Prozeßmodellbildung und Parameterschätzung, der digitalen Regelung und der prozeßnahen Softwaretechnologien, hier insbesondere die automatisierungsfreundliche Sprache FORTH, bei der wir einen sehr fortgeschrittenen Stand erreicht haben, im Mittelpunkt. In der Lehre versuchen wir dabei, eine enge Verflechtung zwischen der Informatik, der technischen Elektronik (mit ihren Komponenten) und der Theorie der automatischen Steuerungen für Regelungs- und Identifikationsaufgaben herzustellen. Das wird durch ein umfassendes Angebot an Laborpraktika und Rechnerübungen (einschließlich der direkten Nutzung des 8-bit- und 16-bit-Computers) unterstützt. Im Ergebnis wird den Studenten die Einheit von Theorie und Praxis erlebbar und transparent. Schwerpunktmäßig werden Beispiele aus dem maritimen Bereich verwendet, z. B. die Kurssteuerung von Schiffen oder die Parameterschätzung zum dynamischen Verhalten fahrender Schiffe.

Prof. FIEDLER:

Die Lehraufgaben des WB Allgemeine Elektrotechnik umfassen zunächst die Grundlagen der Elektrotechnik/Elektronik für Direkt- und Fernstudenten, übrigens auch für die Studenten der anderen technischen Sektionen unserer Universität. Die Lehre setzt sich aus Vorlesungen, Übungen und Praktika (zunehmend mit Rechnerstützung) zusammen. In der Spezialausbildung vermitteln wir auch Kenntnisse zur Optoelektronik und Sensortechnik für automatisierungstechnische Anwendungen (Automaten und Roboter).

Prof. SCHOMMARTZ:

Zum Lehrstuhl Informationstechnik gehören (in direkter Fortsetzung der durch Herrn Prof. em. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. F.-H. LANGE begründeten Schule) die Ausbildungsfächer

— Meßtechnik (Grundlagen der elektrischen Meßtechnik und der Prozeßmeßtechnik)
— Meßsysteme
— automatisierte Meßtechnik
— Meßstochastik
— Theorie und moderne Technologien der Informationstechnik.

Die Lehrstoffvermittlung ist dabei besonders auf die Schiffselektronik zugeschnitten (z. B. auch im Hinblick auf stochastische Prozesse). Natürlich setzt sich die Lehre auch bei uns aus Vorlesungen, Übungen und Laborpraktika zusammen.
An dieser Stelle möchte ich auf eine Besonderheit unserer Sektion hinweisen, denn wir pflegen eine andersgeartete Handhabung der labortechnischen Ausbildung, als das an anderen Bildungseinrichtungen üblich ist. Unser einheitliches Laborpraktikum TE — LAB umfaßt die Laborpraktikumsausbildung im gesamten Studium, beginnend mit der Grundausbildung im ersten Semester bis hin zu den fachspezifischen Laborpraktika (Bild 3) der höheren Semester und steht unter zentraler einheitlicher Leitung. Das TE — LAB hat eine Struktur gemäß Bild 4. Die inhaltlichen Beziehungen zwischen dem zentral gestalteten Laborpraktikum und den verantwortlich mitarbeitenden Lehrstühlen werden deutlich. Wir erkennen folgende Vor-

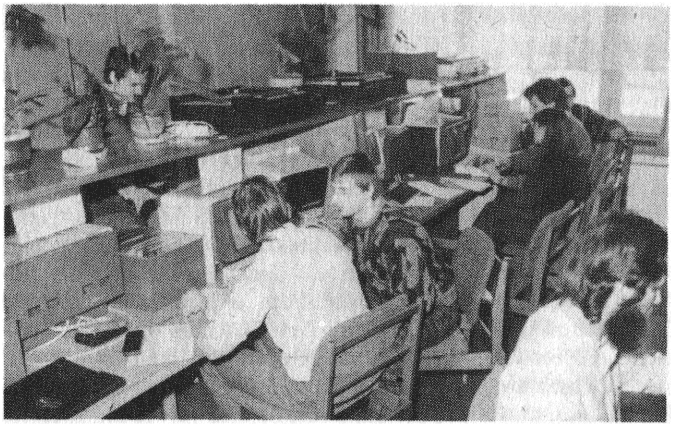


Bild 3. Blick ins Computer-Center als Teil des einheitlichen Laborpraktikums TE-LAB
Nutzung sowohl durch Studenten als auch durch Mitarbeiter und Kooperationspartner

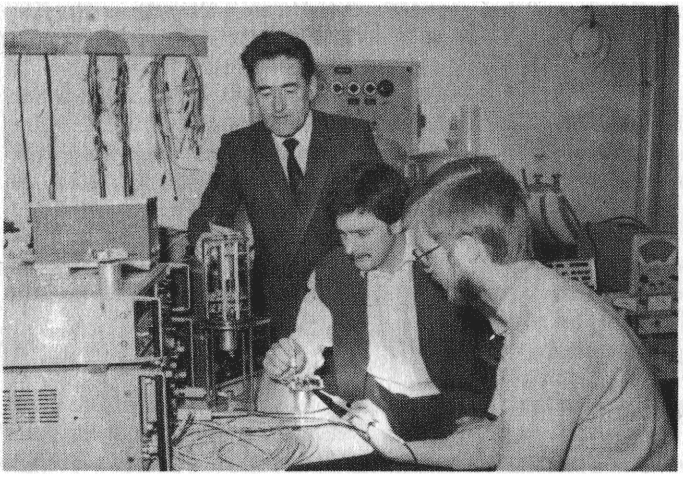


Bild 5. Prof. FIEDLER mit Mitarbeitern am Arbeitsplatz „Akustischer Strömungsmesser"

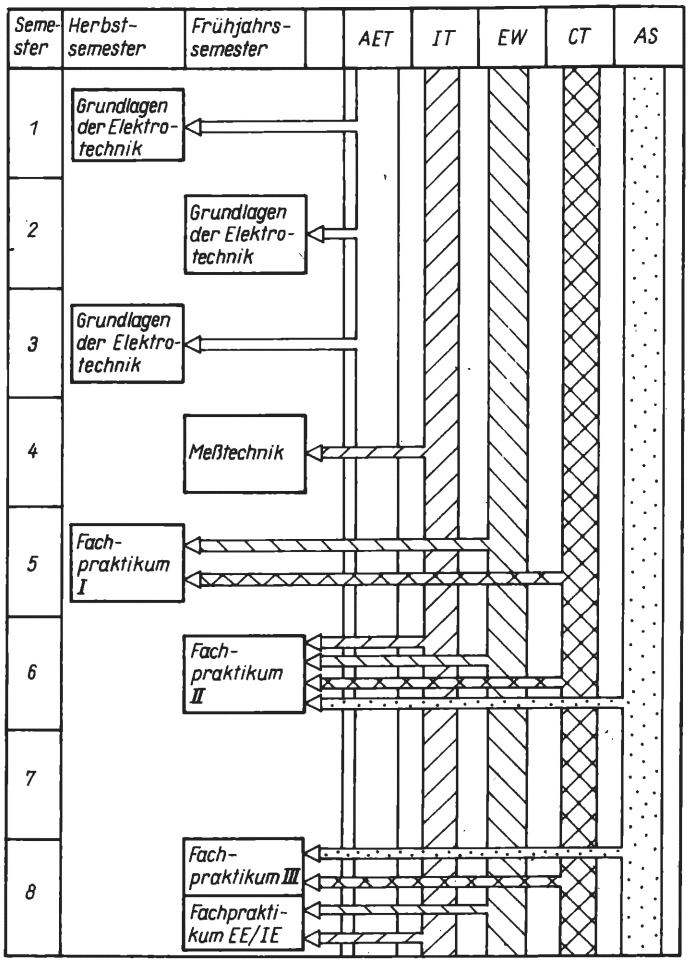


Bild 4. Überblick über die Struktur des einheitlichen Laborpraktikums TE-LAB
Wissenschaftsbereiche: AET Allgemeine Elektrotechnik; IT Informationstechnik; EW Energiewandler; CT Computertechnik, AS Automatische Steuerungen
Vertiefungen im Systempraktikum: EE Energieelektronik; IE Informationselektronik

teile dieser seit 1975 praktizierten und ständig vervollkommneten Konzeption:

- wirksame praktische Vertiefung der Ausbildungsinhalte
- einheitliche Gestaltung der praktikumsbegleitenden Informationsmaterialien und der Versuchsdurchführung
- Einsparung an Raumkapazität, volle Laborauslastung
- Einsparung an Grundgeräteausstattung, hohe Geräteauslastung
- Entlastung der Lehrstühle von organisatorischen und von technischen Routineaufgaben (Beschaffung, Reparaturen)
- Flexibilität der technischen Organisation.

Unser TE — LAB, das etwa 100 Versuche umfaßt, wurde übrigens vom Minister für Hoch- und Fachschulwesen der DDR mit der Humboldt-Medaille in Gold ausgezeichnet.

msr:

Was können Sie uns über die bei Ihnen gepflegten Forschungslinien mitteilen?

Prof. FIEDLER:

Unsere Forschungstätigkeit im WB Allgemeine Elektrotechnik läßt sich in einer Reihe von Schwerpunkten zusammenfassen. Da wäre zunächst die Meß- und Sensortechnik anzuführen, wobei die spezielle Hinwendung zur Strömungs- und Durchflußmeßtechnik auf der Basis opto- und akustoelektronischer Verfahren und Einrichtungen (Laser-Doppler-Anemometrie, akustische Strömungs- und Durchflußmesser, Laser-2-Fokus-Meßsysteme für Hochgeschwindigkeitsmessungen, z. B. für die Messung ultrasonischer Geschwindigkeiten in Turbinen und Turbogasladern) für uns typisch ist (Bild 5). Einsatzfälle für die genannten Einrichtungen und Verfahren haben wir z. B. im Schiffbau (schiffsbauliches Versuchswesen und Schiffsbetriebstechnik), in der Meeresforschung, in Diagnosesystemen oder bei der Überwachung und Einstellung von Kühl- und Heizkreisläufen in Schiffs- und Standanlagen. Einen weiteren Schwerpunkt stellen Führungssensoren für Automaten und Roboter auf der Basis induktiver, akustischer und optoelektronischer Abtastungen dar. Die induktiven Führungssensoren kommen z. B. in Schweißrobotern in der Schiffbautechnologie oder in Transportrobotern zum Einsatz. Für Schiffsroboter wird die akustische Abstandssensorik benötigt. Ein anderes Einsatzfeld liegt in automatischen Flurförderfahrzeugen. Als dritten Schwerpunkt möchte ich die optoelektronische Mustererkennung auf der Basis von CCD-Sensoren mit Einsatzfällen bei der On-line-Vermessung bewegter Objekte nennen. Und schließlich beschäftigen wir uns auch mit Anwendungen magnetischer Flüssigkeiten für Winkelgeber und Neigungsmesser. Im Heft 5/88 Ihrer Zeitschrift sind einige unserer Forschungsleistungen dargestellt.

Prof. SCHOMMARTZ:

Im von mir vertretenen Forschungsbereich steht die Anwendung informationsverarbeitender Prinzipien in der Meßtechnik im Mittelpunkt. Dabei betrachten wir vorrangig Einsatzfälle der Meßstochastik in der Hydroakustik. Als ein wesentliches Arbeitsergebnis der letzten Zeit möchte ich das Sedimentecholot anführen, mit dem unter Ausnutzung der Korrelationsprinzipien zur Signalverarbeitung Eindringtiefen von Schallimpulsen in den Meeresboden (Flachsee) bis zu 15 ... 20 m erreichbar sind, um Sedimentschichtgrenzen zu detektieren. Als langfristige Zielstellung unserer Forschung auf diesem Gebiet sehen wir dabei die Identifikation von Sedimentmaterialien. Eine andere Säule unserer Forschungstätigkeit verkör-

pern Schallwandler und die Optimierung der Eigenschaften dieser Wandler für die Bedürfnisse einer angepaßten Signalverarbeitung. Schließlich beschäftigen wir uns auch mit der digitalen Signalverarbeitung auf Mikrorechnerbasis im On-line-Prozeß. So sind wir z. B. an der Entwicklung einer Anlage zur Rolldämpfung von Schiffen (die auf den Eisenbahngüterfähren DDR/UdSSR im Einsatz ist) des Kombinats Schiffbau Rostock beteiligt.

Prof. HORMANN, Dr. DREWELOW:

Eine wesentliche Forschungslinie des WB Automatische Steuerungen zielt auf die Umsetzung und Anwendung von Grundsatzprinzipien der Modellbildung, Identifikation und ganz speziell Parameterschätzung dynamischer Systeme und Prozesse. Wir bemühen uns vordergründig um die Aufarbeitung von Identifikationsverfahren in eine nutzerfreundliche Form und um die Modellverifikation mit anschaulichen, dialogorientierten Hilfsmitteln. Dabei sind für uns zwei Anwendungsrichtungen von Vorrang. Zum einen untersuchen wir das Drehzahlverhalten von Dieselmotoren (Schiffsdiesel) im Hinblick auf die sich anschließende Reglersynthese. Zum anderen erforschen wir das Steuerverhalten seegehender Schiffe und Schiffsmodelle. Ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschungsbemühungen zielt auf den Reglerentwurf, speziell auf rechnergestützte, dialogorientierte Entwurfsverfahren für moderne digitale Regelalgorithmen, wie die Verfahren, die auf der Polzuweisung beruhen, oder robuste Entwurfsverfahren. Als Einsatzfall betrachten wir dabei vordergründig den Entwurf von Reglern für Hauptantriebsmaschinen von Schiffen. Auch den praktischen Anwendungsgebieten von adaptiven Reglern gilt unser Interesse.
Zur Realisierung der eben genannten Forschungsschwerpunkte, also zur Unterstützung des Prozeßzugangs, beschäftigen wir uns intensiv mit einer prozeßnahen Softwaretechnologie. Seit Jahren steht daher die Weiterentwicklung des automatisierungsfreundlichen Sprachkonzepts FORTH im Zentrum dieser Bemühungen. Wir haben uns das Ziel gestellt, eine FORTH-Version zu präsentieren und weiter zu verfeinern, die eine breite Anwendung in ganz verschiedenen Industriezweigen ermöglicht.
Es sei angefügt, daß wir zur praktischen Umsetzung unserer Anwendungen die Problematik der Koppelhardware, also Interfaces, DA- und AD-Wandler, mitbearbeiten. Eine Reihe wichtiger theoretischer Ergebnisse aus den genannten Komplexen haben wir in Ihrer Zeitschrift bereits vorgestellt.

msr:

Das eben umrissene umfangreiche Forschungsspektrum läßt vermuten, daß Sie über zahlreiche Kooperationsbeziehungen verfügen, und dabei kommt sicher den Einrichtungen des maritimen Bereiches eine zentrale Bedeutung zu?

Prof. FIEDLER, Prof. SCHOMMARTZ, Prof. HORMANN:

Da haben Sie völlig recht, die Bereiche der Sektion Technische Elektronik pflegen besonders intensive Beziehungen zu den Kombinaten und Einrichtungen des maritimen Bereiches, also den Kombinaten Schiffbau, Seeverkehr und Hafenwirtschaft sowie Fischfang, dem Institut für Meereskunde der AdW und dem Zentralen Geologischen Institut des Ministeriums für Geologie, mit denen wir zu den o. g. Forschungskomplexen partnerschaftliche Zusammenarbeit praktizieren. Aber auch andere Kooperationen, wie etwa zum Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW, zum Zentralinstitut für Schweißtechnik Halle, zu den Kombinaten Carl Zeiss JENA und SKET Magdeburg oder dem VEB Hydraulik Parchim, sind hier unbedingt zu nennen. Natürlich bestehen auch viele gute Beziehungen zu den anderen technischen Hochschulbereichen in der DDR, die wir an dieser Stelle nicht alle aufzählen können. Schließlich wollen wir nicht vergessen, auf unsere Forschungskontakte zu einer Reihe ausländischer Einrichtungen hinzuweisen. Besonders intensiv sind die Beziehungen zur Universität Zagreb, zum Polytechnikum Gdansk, zum Schiffbauinstitut Leningrad, zum Nowosibirsker Elektrotechnischen Institut, zur Hochschule für Maschinenbau Warna, zur Slovakischen Technischen Hochschule in Bratislava und zum Vereinigten Institut für Kernforschung Dubna, die für alle Beteiligten nützlich sind und fruchtbare Ergebnisse bringen.

msr:

Einer Tradition folgend, beschließen wir unser Gespräch stets mit der Frage nach erwähnenswerten Stationen und Höhepunkten im wissenschaftlichen Leben der Sektion. Was möchten Sie unseren Lesern dazu mitteilen?

Prof. HORMANN, Prof. SCHOMMARTZ, Prof. FIEDLER:

Im Laufe der Entwicklung der Sektion Technische Elektronik haben wir ein reges und zielstrebiges wissenschaftliches Leben herausgebildet. So bestreiten wir beispielsweise eine Reihe fest etablierter Symposien, Tagungen und Konferenzen. In dreijährigem Rhythmus (die nächste 1989!) führen wir als Sektionsveranstaltung mit etwa 150 bis 200 Teilnehmern unser Symposium „Maritime Elektronik", das einen guten Ruf genießt, durch. Andere Veranstaltungen werden durch die Wissenschaftsbereiche getragen. Beispielsweise realisieren wir 2jährig für etwa 70 Teilnehmer das Symposium „Strömungs- und Durchflußmeßtechnik" und alle 3 Jahre die Konferenz „Hydro- und Geoakustik" gemeinsam mit dem Polytechnikum Gdansk, die von etwa 70 bis 80 Teilnehmern besucht wird. Im Rahmen des Kooperationsrates Technische Kybernetik sind wir Mitveranstalter der „Herbstkurse Technische Kybernetik" (einer für die komplexe Weiterbildung der Automatisierungsingenieure wichtigen Veranstaltung auf hohem fachlichen Niveau), die wir gerade in diesem Jahr ausgerichtet haben. Wir bieten DDR-offene Seminare „FORTH" an und organisierten im Rahmen des INQUAMESS-Programms eine Reihe von Weiterbildungsveranstaltungen für Hochschulkader.
Unsere wissenschaftlichen Leistungen haben in zahlreichen Vorträgen und Publikationen ihren Niederschlag gefunden. An dieser Stelle sollen nur einige bedeutende Buchprojekte angeführt werden. Dabei nehmen noch heute die Bücher von LANGE, wie „Meßstochastik", „Signale und Systeme" u. a., einen zentralen Platz ein. Des weiteren soll hier auf die (überwiegend in Ihrem Verlag veröffentlichen) Bücher von LAMPE/JORKE/WENGEL „Algorithmen der Mikrorechentechnik", von THAMM/GLESS „Schiffselektrotechnik" oder ALBRECHT „Laser-Doppler-Anemotrie" wie auch auf den Teil Hydroakustik im Taschenbuch „Akustik", der von BARNICK/WENDT/SCHOMMARTZ verfaßt wurde, hingewiesen werden. Für die Buchreihe „Angewandte Akustik" zeichnet Prof. SCHOMMARTZ gemeinsam mit Prof. KRAAK/TU Dresden als Herausgeber verantwortlich.
Als eine ganz wesentliche Aktivität der letzten Zeit erachten wir die Überführung des bei uns entwickelten akustischen Strömungsmessers an das Institut für Meereskunde der AdW und darüber hinaus in die Kleinserienproduktion des Wissenschaftlichen Gerätebaus unserer Universität. Dies erbrachte einen erheblichen ökonomischen Nutzen. Unsere induktive Abstandssensorik ist schon seit mehr als 2 Jahren in der volkswirtschaftlichen Anwendung und ergab einen Nutzen von einer halben Million Mark. Das erwähnte Sedimentecholot führte zu technologischen Leistungssteigerungen in der Größenordnung von 800%. Für unser FORTH-Programmsystem haben wir bereits mehr als 100 Nachnutzer und die Nachnutzungsverträge für Laser-Doppler-Anemometer erbrachten einen Gewinn von mehr als 100000 Mark.
Diese Auswahl aus unserem wissenschaftlichen Gesamtspektrum mag genügen, um vorrangig die Vorstellung des meß- und automatisierungstechnischen Teils unseres Sektionsprofils abzurunden.

msr:

Meine Herren, ich danke Ihnen im Namen der Leser der msr herzlich für Ihre interessanten und umfassenden Auskünfte.

msr 8893 D. WERNER

Elektrische Stellantriebe. Band 230 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von D. ZENKEL. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 72 Seiten, 44 Bilder, 10 Tafeln, 4,80 M.
Bestell-Nr.: 553 837 3

Dieser Band der RA vermittelt einen praxisbezogenen Überblick über elektrische Stellantriebe. Am Anfang wendet sich der Verfasser analytischen Betrachtungen des Bewegungsvorganges und des mechanischen Systems zu, die zur Auswahl und zum Entwurf des Antriebssystems Voraussetzung sind. Die Vorgehensweise ist schlüssig. Auch dem Nichtfachmann werden die wesentlichen Einflüsse auf den Stellantrieb verdeutlicht. Ausführlich werden die für Positionierantriebe charakteristischen Steuergesetze beschrieben.
In den folgenden Abschnitten stellt der Verfasser die verfügbaren Gleichstromstellmotoren, Drehstrom- und Schrittmotoren mit ihren leistungselektronischen Stellgliedern vor. Die Darlegungen beziehen sich auf die baugliedtypischen Eigenschaften und solche Kenngrößen, die zur Beschreibung ihres stationären und dynamischen Verhaltens von Bedeutung sind. Durch die Angabe konkreter Daten lassen sich danach auch überschlägige Berechnungen durchführen. Allerdings könnte die für Stellantriebe sehr wesentliche thermische Beanspruchung aktueller dargestellt werden.
Die grundsätzlichen Überlegungen für die Auswahl der Meßglieder und die Regelung der Antriebssysteme kommen gut und in verständlicher Weise zum Ausdruck. Dem Leser wird anschaulich verdeutlicht, welche Vorzüge, aber auch welche besonderen Anforderungen der Einsatz der Mikroelektronik für die elektrische Stellantriebstechnik bringt.
Der Band schließt eine Lücke auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik und ist neben Elektrotechnikern und Automatisierungstechnikern vor allem Technologen und Maschinenbauern zu empfehlen.

B 2377 J. VOGEL

Kleines Lexikon der automatischen Fertigung. Band 228 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von ST. HESSE. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 71 Seiten, 69 Bilder, 4,80 M.
Bestell-Nr.: 553 835 7

In diesem kleinen Lexikon werden rund 600 Begriffe erläutert, von Abfragefrequenz bis Zykluszeit und an vielen Stellen durch eine Reihe instruktiver Strichzeichnungen ergänzt. Es stellt Definitionen zu Begriffen aus den Gebieten Sondermaschinen und Taktstraßen, Nachformtechnik, flexible automatisierte Fertigungseinrichtungen und der NC-Technik zusammen.
Die Entwicklung der automatisierten Fertigung ist eng verbunden mit den Fortschritten in der Fertigungs-, Automatisierungs- und Informationstechnik. Mit den Mitteln der Mikroelektronik entstanden komplexe Lösungen, die sich bisher getrennt entwickelnde Bereiche integrieren. Demzufolge sind auch die Begriffsbildungen sehr unterschiedlich, teilweise widersprüchlich.
Auch der vorliegende Band wird davon nicht verschont, weil die definierten Begriffe vor allem aus der Sicht des Maschinenbaus und der daraus abgeleiteten Automatisierungswelt betrachtet werden. Insbesondere an der Schnittstelle NC-Technik, Programmierungstechnik, Informatik/Rechentechnik sind die aus der NC-Technik kommenden Begriffe unter dem Blickwinkel der Informatik teilweise unscharf und unvollständig. Hierzu u. a.: Der wichtige Begriff der Adresse wird als NC-Begriff eingeführt und als eine Gruppe von Zeichen definiert, „die ein Programmwort einleiten und dazu benutzt werden, jene Daten zu kennzeichnen und zu adressieren, die das Wort enthält". Der ISO-Kode wird ausschließlich als 8-Bit-Kode eingeführt, wie er in der NC-Technik benutzt wurde. Dem Rezensenten erscheinen auch einige Definitionen zu knapp. Unter JIT (just in time manufactoring) wäre eine weitere Spezifikation angebracht als nur ein „System zur Steuerung von Produktion und Materialwirtschaft". Betrachtet man dieses Bändchen insgesamt, so bleibt doch sowohl in der Begriffsauswahl als auch bei den Erklärungen eine Reihe von Wünschen offen, um vor allem den Charakter dieses für die Volkswirtschaft wichtigen Gebietes besser zu beleuchten.
Es bleibt trotzdem ein Verdienst des Autors, eine Reihe von Begriffen zusammengetragen zu haben, die in getrennten Fachgebieten unabhängig entstanden sind und erst durch die Fertigungsautomatisierung in einem komplexeren Rahmen zu sehen sind. Auch hier zeigt sich, wie wichtig es ist, daß sich Fachleute unterschiedlicher Fachgebiete finden. Dieser Band leistet hierzu einen Beitrag.

B 2375 W. FRITZSCH

Elektrische Stellantriebe kleiner Leistung. Von C. RICHTER. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 123 Seiten, 17,— M.
Bestell-Nr.: 553 722 3

In dieser Monografie werden elektrische Stellantriebe, die in Automatisierungslösungen immer häufiger zum Einsatz gelangen, vorgestellt. Einleitend weist der Verfasser darauf hin, daß er sich auf solche Antriebe beschränkt, die von einem Gleichspannungsnetz gespeist werden.
Nach einleitenden Bemerkungen über die allgemeine Struktur eines Positionierantriebs werden Schrittmotore verschiedener konstruktiver Ausführungen erläutert. In Verbindung mit den dazu angepaßten Ansteuerschaltungen bestimmen sie das Betriebsverhalten in entscheidendem Maße.
Den dynamischen Vorgängen wird die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt, und es werden charakteristische Bewegungsabläufe eingehend beschrieben.
Im nachfolgenden Abschnitt wendet sich der Verfasser den Gleichstromkleinstmotoren zu, die gegenwärtig in großer Breite zum Einsatz gelangen. Auch hier sind die konstruktiven Merkmale der Ausgangspunkt für die Beschreibung der Eigenschaften und die erreichbaren technischen Parameter. So werden Motoren mit Glocken- bzw. mit Scheibenläufern und in nutenloser Ausführung dargestellt. Der Elektronikmotor, dessen Bedeutung in letzter Zeit beachtlich angestiegen ist, wurde ebenfalls aufgenommen. Bei der Behandlung des stationären und dynamischen Verhaltens greift der Verfasser auf die allgemeine Literatur zurück.
Besondere Anerkennung verdienen die im letzten Abschnitt aufgeführten Antriebsaufgaben. Anhand von 7 der Praxis entnommenen Beispielen werden die Auswahlgesichtspunkte nach technisch-ökonomischen Kriterien verdeutlicht. Das Buch kann in der Praxis tätigen Ingenieuren und Studenten empfohlen werden. Das Literaturverzeichnis sollte zukünftig etwas erweitert werden.

B 2374 J. VOGEL

Grundlagen der problemorientierten Programmentwicklung. Von U. LINDNER und R. TRAUTLOFT. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 404 Seiten, 153 Bilder, 74 Tafeln, 30,— M.

Um es vorwegzunehmen: Ein notwendiges und gutes Buch, ein Buch, dessen Studium Neugier hervorruft und Freude bereitet!
Die Entwicklung von Software gewinnt zunehmend an Bedeutung. In unserem Lande gibt es aber bisher nur wenige Bücher, die sich den Fragen der Softwaretechnologie widmen. Es ist daher hoch einzuschätzen, daß Autoren und Verlag einem objektiven, zeitgerechten Anliegen entgegengekommen sind und dieses Werk herausbrachten.
Durchgängig wird spürbar, daß in dieses Buch jahrelange Ausbildungserfahrungen eingeflossen sind. Die Autoren scheuen sich nicht, auch Grundlagen in leicht faßlicher Darstellungsweise niederzulegen und den Leser in einprägsamer, repetierender Art bei der Programmentwicklung an die Hand zu nehmen.
In zwei Einführungsabschnitten setzen sich die Autoren mit der Zielstellung der Programmentwicklung auseinander und stellen Aufbau und Arbeitsweise von Digitalrechnern vor. Anschließend werden Methoden, Darstellungsmittel und Werkzeuge für das Entwickeln und Warten von Programmen behandelt. An eine kurze, prägnante Ein-

führung in höhere Programmiersprachen schließen sich zwei Hauptkapitel an: „Entwicklung elementarer sequentieller Programme" (Kapitel 5) und das „Entwickeln und Warten großer Programme" (Kapitel 6). Unter letzterem sind Programmsysteme zu verstehen, die nur arbeitsteilig in vertretbaren Entwicklungszeiten von höchstens zwei Jahren hergestellt werden können. Programmsysteme dieser Größenordnung lassen sich nur nach erprobten ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien entwerfen, realisieren, testen und dokumentieren, bis sie schließlich das Gütesiegel der Anwendbarkeit, also der praktischen Verwertbarkeit, erhalten.
Die systematische Einführung in das „Programmieren im Kleinen" erfolgt unter Zuhilfenahme der Sprache PASCAL, die scheinbar nebenbei gelehrt wird. Zahlreiche Beispiele — vom Elementaren zum Komplizierten wohlgeordnet (und mit Lösungen im Anhang) — festigen das Lehrziel der Autoren.
Bei der „Programmierung im Großen" — also der Entwicklung umfangreicher Softwaresysteme — benutzen die Verfasser in einem Demonstrationsbeispiel die Sprache MODULA-2. Vergleiche mit PASCAL werden angeführt.
Ein spezielles Kapitel gibt einen wertenden Überblick über PL/1, FORTRAN 77, ADA, PASCAL und MODULA-2.
In einem Ergänzungskapitel zu den methodischen Grundlagen der Programmentwicklung stellen die Buchautoren das Betriebssystem UNIX vor und verbinden softwaretechnologische Fragen beispielhaft mit einem Betriebssystem, das die Programmabarbeitung steuert.
Das Werk ist Anfängern und Fortgeschrittenen, Nichtinformatikern und Spezialisten zum Gebrauch sehr zu empfehlen. Es vermittelt einen systematischen Zugang zu modular aufgebauten Programmen. Der Rezensent ist gewiß, daß dieses nach Inhalt, Darstellung und Aufmachung wahrhaft schöne Buch bald seine interessierte Leser- und Programmiererschaft findet.

B 2371 H. LÖFFLER

Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren. Von ST. F. BOCKLISCH. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 196 Seiten, 131 Bilder, 27,— M. Bestell-Nr.: 553 746 9

Nach der Entwicklung und erfolgreichen Nutzung deterministischer Konzepte in den Systemwissenschaften finden heute auch unscharfe Betrachtungsweisen nicht nur ein zunehmend theoretisches, sondern bereits auch praktisches Interesse. Dieses resultiert aus der Notwendigkeit, auch nicht exakt erfaßbare Sachverhalte und Zusammenhänge in Modelle mit einbeziehen zu müssen. Solche sind u. a. auch für die menschliche Handlungsweise typisch. Insofern leisten unscharfe Verfahren auch einen Beitrag zur künstlichen Intelligenz.
Es ist daher außerordentlich zu begrüßen, wenn nun das Fachschrifttum des deutschsprachigen Raums durch die Herausgabe einer Monografie zu dieser Thematik bereichert wird, insbesondere wenn diese aus der Feder eines auf diesem Fachgebiet langjährig Tätigen stammt.
Das Anliegen des Buches ist die Vermittlung der unscharfen Betrachtungsweise an breite Kreise und Bereitstellung des notwendigen Instrumentariums. Dabei ist die gewählte anwendungsorientierte Darstellung sehr zu begrüßen.
Die Grundlagen werden vornehmlich in den ersten 4 Kapiteln abgehandelt. Sie befassen sich mit der Begriffsklärung, dem Klassifikationsproblem, der Clusterbildung sowie den unscharfen Mengen samt Beschreibungsmittel Zugehörigkeitsfunktion. Dort wird aber mit der Behandlung verschiedener Arten unscharfer Steuerungen auch bereits auf eine wichtige Klasse möglicher Anwendungen eingegangen. Insofern wird über die im Titel vermerkte Prozeßanalyse hinausgegangen. Die angegebenen Beispiele resultieren teils aus bearbeiteten Problemen aus der Fachliteratur, teils aber auch aus Lösungen im Rahmen früherer Hochschultätigkeit.
Das 5. Kapitel befaßt sich mit der wichtigen Frage der Gewinnung von Zugehörigkeitsfunktionen für vorliegende Aufgabenstellungen, wobei Verfahren der Off-line- als auch der On-line-Bestimmung durch Lernen angegeben werden. Im 6. Kapitel wird auf das rechentechnische Instrumentarium eingegangen, in dessen Mittelpunkt das seinerzeit entwickelte Programmsystem EUKLID steht. Das letzte Kapitel gibt einen Ausblick auf mögliche und überwiegend auch praktizierte Anwendungen der unscharfen Prozeßanalyse, die neben Beispielen industrieller Nutzung auch den medizintechnischen Einsatz umfassen.
Das Buch wird nicht nur Fachleuten, insbesondere aus Mathematik, Automatisierungstechnik und Kybernetik Anregungen und Kenntnisse vermitteln, sondern auch auf Interessenten aus vielen Fachgebieten stoßen, die sich über ein modernes und zukunftsträchtiges Gebiet informieren wollen.

B 2373 W. WELLER

Fehlererkennungsschaltungen. Von ST. GRAF und M. GÖSSEL. Berlin: Akademie-Verlag 1987. 146 Seiten, 63 Bilder, 33 Tafeln, 25,— M.

Die On-line-Fehlererkennung in digitalen Systemen gewinnt immer mehr an Bedeutung, da einerseits aufgrund der wachsenden Komplexität dieser Systeme die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlern zunimmt und andererseits insbesondere bei ihrem Einsatz zur Prozeßsteuerung den damit im Zusammenhang stehenden Sicherheitsanforderungen mehr Beachtung geschenkt werden muß. In der Fachliteratur findet man eine Reihe von speziellen Lösungen für Fehlererkennungsschaltungen. Bisher fehlten jedoch systematische Entwurfsverfahren für solche Schaltungen, die es ermöglichen, den dafür erforderlichen Realisierungsaufwand an das zugrunde gelegte technologische Fehlermodell anzupassen. Derartige Methoden werden von den Autoren beschrieben.
Im ersten Abschnitt wird zunächst ein Überblick über bisher bekannte Schaltungen zur On-line-Fehlererkennung gegeben, die zu folgenden Gruppen zusammengefaßt werden:

- Modifikation von Verdopplung und Vergleich
- Anwendung fehlererkennender Kodes
- algebraische Fehlererkennungsverfahren (z. B. Verwendung einer Restklassenarithmetik)
- Methoden zur Erkennung von Fehlern in Ablaufsteuerungen.

Im zweiten Abschnitt wird dargelegt, wie für eine gegebene kombinatorische Schaltung bei bekanntem Fehlermodell eine optimale Fehlererkennungsschaltung durch Minimierung einer partiell definierten Booleschen Funktion bestimmt werden kann. Das Verfahren wird sehr anschaulich am Beispiel einer Addierschaltung erläutert. Es wird gezeigt, wie sich der Realisierungsaufwand bei unterschiedlichen Fehlerannahmen verändert.
Im dritten Abschnitt wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, zu einer beliebigen sequentiellen Schaltung bei bekanntem Fehlermodell eine optimale Fehlererkennungsschaltung durch Minimierung eines partiell definierten Automaten zu berechnen.
Im vierten Kapitel werden schließlich Möglichkeiten gezeigt, wie verfügbare Programmsysteme zum Logikentwurf für die Berechnung von Fehlererkennungsschaltungen genutzt werden können.
Das Buch ist logisch aufgebaut und gut verständlich geschrieben. Sein Studium setzt gewisse Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Schaltalgebra und Automatentheorie voraus. Es wird vor allem Fachleuten empfohlen, die sich mit dem Entwurf von Schaltkreisen für die Rechentechnik, Automatisierungstechnik, Nachrichtentechnik oder Sicherungstechnik befassen.

B 2248 H. J. ZANDER

Grundlagen und Anwendungen der CAD/CAM-Technologie — Eine Fachbibliographie. Von einem Autorenkollektiv. Heft 17 der Schriftenreihe der Betriebssektion der KDT und der Zentralen Informationsstelle Wissenschaft und Technik des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow 1987. 70 Seiten, 8,— M.

Rechnergestützte Konstruktion/Projektierung (CAD) und Fertigung (CAM) gewinnen zunehmend entscheidende Bedeutung bei der Nutzung von Schlüsseltechnologien, wie Mikroelektronik, Sensortechnik, Mikrorechentechnik, flexible automatisierte Fertigungssysteme, Optoelektronik, Lasertechnik und Anwendung neuer Werkstoffe.
Entsprechend dieser Grundrichtung der wissenschaftlich-technischen Entwicklung sind dieser Fachbibliographie die neuesten Veröffentlichungen auf dem Gebiet der rechner-

gestützten Schlüsseltechnologien von CAD/CAM, CAE, CAQ bis hin zu CIM und vor allem der Entwicklung und Anwendung dieser rechnergestützten Technologien in den vielfältigsten industriellen Einsatzgebieten der Volkswirtschaft zugrunde gelegt. Zu diesen Einsatzgebieten zählen insbesondere die chemische Industrie, Energietechnik, Maschinenbau, Bauwesen, Elektrotechnik/Elektronik und die Automatisierungstechnik. Die Fachbibliographie enthält vorwiegend CAD/CAM-Anwendungsfälle, um den Entwicklern, Konstrukteuren und Technologen sowie den Kadern aller Leitungsebenen der Industrie sowie den in der Weiterbildung Tätigen Impulse für den Einsatz der CAD/CAM-Technologie zu vermitteln. Die Literaturhinweise beziehen sich in erster Linie auf die Fachliteratur des deutschsprachigen Raumes. Die Fachbibliographie wird vervollständigt durch ein Sachwortverzeichnis, das auf die Ordnungsnummer des jeweiligen Literaturnachweises hinweist.
Die Broschüre, die 490 Literaturnachweise enthält, die in begründeten Fällen mit Kurzreferat versehen sind, kann über die Zentrale Informationsstelle Wissenschaft und Technik bzw. über die Betriebssektion der Kammer der Technik des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow zum o. g. Preis bezogen werden.

B 2315 L. BLACKERT

Unscharfe Mengen in Modellen der Steuerung und künstlichen Intelligenz. Von einem Autorenkollektiv. Moskau: Nauka 1986. 312 Seiten, 41 Bilder, 31 Tafeln.

Die 1965 von ZADEH begründete Theorie der „fuzzy sets" entsprach dem praktischen Bedürfnis, die Unexaktheit und Unschärfe der realen Prozesse mathematisch zu erfassen, die u. a. auf der Unexaktheit und Unschärfe der natürlichen Sprache beruhen. Hervorzuheben sind praktische Problemstellungen, in denen es nicht mehr möglich ist, bezüglich jedes Objektes des Grundbereichs eindeutig zu entscheiden, ob es zu einer betrachteten Menge gehört oder nicht, weil es an entsprechend streng formulierten Kriterien mangelt. Auf dieser Grundlage ist eine Fuzzy-Mathematik mit erweiterten grundlegenden mathematischen Begriffen und neuen Gebieten, wie Fuzzy-Gleichungen, -Integration, -Logik, -Topologie u. a., entstanden. Die umfassende praktische Anwendung in verschiedenen Bereichen von Wissenschaft und Technik hat längst deren Praktikabilität nachgewiesen.
Die Publikation ist das Ergebnis der Arbeit eines Kollektivs junger sowjetischer Wissenschaftler. Es versucht aus allgemeiner Sicht eine zusammenfassende Übersicht über den Stand der Arbeiten auf diesem Gebiet und deren Anwendung zur Lösung von Aufgaben der Steuerung und künstlichen Intelligenz zu geben. Dabei werden nicht nur internationale Forschungsergebnisse vorgestellt. Die Autoren versuchen, die Fuzzy-Theorie auf solchen Gebieten wie Matrizenrechnung, Logik, Automaten- und Algorithmentheorie, Entscheidungstheorie u. a. anzuwenden, und beschreiben die praktischen Ergebnisse bei der Anwendung der formalen Methoden zur Clusteranalyse, Mustererkennung, Expertenschätzung, Vorhersage sowie zur Beschreibung biologischer und sozialer Prozesse. Besondere Bedeutung bekommt natürlich die Anwendung der Fuzzy-Theorie zur Modellierung menschlichen Verhaltens und zur Wissensdarstellung, wobei die Ergebnisse bei der Steuerung von Robotern und bei der flexiblen Automatisierung Anwendung finden.

B 2310 J.-A. MÜLLER

Statistical Methods for Digital Computers (in Russ.). Moskau: Nauka 1986. 464 Seiten, 28 Bilder, 41 Tafeln.

Der Sammelband enthält 15 Beiträge, in denen führende amerikanische Spezialisten der mathematischen Statistik zu den wichtigsten und weit verbreiteten statistischen Berechnungsmethoden leistungsfähige Software vorstellen. Dabei werden neben der zugrundeliegenden Theorie vor allem die den Programmen zugrundeliegenden Algorithmen ausführlich behandelt. Dementsprechend sind die Beiträge für einen Leserkreis interessant, der entweder selbst statistische Software entwickeln oder aber sich in die Nutzung dieser einarbeiten will. Die Beiträge können in 5 Abschnitten unterteilt werden, wobei der einführende Teil einen Überblick über statistische Software bietet. Aufgrund des Abstandes zwischen Publikation und sowjetischer Herausgabe ist dieser Überblick unvollständig und bedauerlicherweise nicht ergänzt. Darüberhinaus werden Erfahrungen bei der Anwendung der Monte-Carlo-Methode in statistischen Berechnungen vorgestellt. Der zweite Abschnitt enthält Programme zur Regressions- und Diskriminanzanalyse, so z. B. zur Strukturwahl von Regressionsmodellen, zur schrittweisen Regression und zu Koalitionsmethoden. Verschiedene Verfahren und Probleme der Faktoranalyse sind im folgenden Abschnitt zusammengefaßt. Der 4. Abschnitt ist der Clusteranalyse und der Mustererkennung gewidmet, hier werden hierarchische Klassifikationsverfahren, mehrdimensionale Skalierungen und Methoden zur Struktursuche behandelt. Der letzte Abschnitt schließlich enthält auf dem Gebiet der Zeitreihenanalyse Methoden zur schnellen Fourier-Transformation sowie die rechentechnische Realisierung von ARIMA-Verfahren.

B 2343 J. PETERS

Grundlagen der Digitaltechnik. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Von L. BORUCKI. Stuttgart: B. G. Teubner. 302 Seiten, 292 Bilder, 76 Tafeln.

Dieser 10. Band der Reihe „Leitfaden der Elektrotechnik" gliedert sich in 18 voneinander gut abgegrenzte Kapitel. Nach einer einführenden Behandlung von Zahlensystemen, Rechenregeln und Kodierungen wird zunächst die Schaltalgebra recht ausführlich behandelt. Das geht bis zu den Minimierungsverfahren von QUINE-MCCLUSKEY und KARNAUGH, letzteres bis zu 6 Variablen. Bei den logischen Schaltungen werden Grundschaltungen und die gängigen Schaltkreisfamilien beschrieben. Kippstufen, Folgeschaltungen sowie Zähler und Schieberegister folgen in knappen, aber präzisen Darstellungen mit Schaltbeispielen und Impulsdiagrammen. Mit binären Rechenschaltungen, Kodeumsetzern und Multiplexern wird danach das Sortiment digitaler Schaltungen konsequent erweitert bis zu Ausführungen über Bussysteme (mit kurzer Beschreibung von Tristateschaltungen), Schnittstellen und Beispielen zur Pegelanpassung zwischen unterschiedlichen Schaltkreisfamilien. Die asynchronen und synchronen mikroprogrammierbaren Steuerungen, die man als Vorstufe zu speicherprogrammierbaren Steuerungen mit Mikroprozessor bezeichnen könnte, werden nur kurz erläutert, während am Schluß des Buches den DA- und AD-Umsetzern breiter Raum gegeben wird.
Textliche Darstellung, Gleichungen, Schaltbilder und Diagramme ergänzen sich gegenseitig. Die Sachverhalte werden entsprechend dem fortgeschrittenen Stand der Technik didaktisch geschickt erläutert und durch Übungsbeispiele wirksam bereichert. An geeigneten Stellen wird mit Graphen gearbeitet. Der Übergang von diskret aufgebauten zu integrierten Schaltungen wird an zahlreichen Stellen verdeutlicht.
Das Buch kann vorteilhaft zur Weiterbildung genutzt werden.

B 2213 H. GOTTSCHALK

Fortschritte in der Meß- und Automatisierungstechnik durch Informationstechnik. INTERKAMA-Kongreß 1986. Herausgeber: M. THOMA und G. SCHMIDT. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1986. 845 Seiten.

Der Berichtsband enthält die auf dem Interkama-Kongreß 1986 gehaltenen Vorträge (über 70). Die schriftlichen Berichte sind den 10 Themengruppen des Kongresses entsprechend geordnet nach

- Sensoren und Sensorsysteme (9 Beiträge)
- Bildverarbeitung und Bilderkennung (5 Beiträge)
- Leitsysteme, neue Strukturen und Lösungswege (8 Beiträge)
- rechnergestützter Entwurf von Anwendersystemen (5 Beiträge)
- Steuerungs- und Regelungsverfahren für komplexe Aufgaben (9 Beiträge)
- Expertensysteme für technische Prozesse (7 Beiträge)
- Erfahrungen mit Prozeßleitsystemen (8 Beiträge)
- neue Kommunikationstechniken für die Leittechnik (8 Beiträge)
- Anwendung von Personalcomputern in der Meß- und Automatisierungstechnik (8 Beiträge)
- Wägetechnik (5 Beiträge):

Diesen Darstellungen sind die Berichte zu den 2 Plenarvorträgen über „Die moderne Fabrik als Herausforderung an die Meß- und Regelungstechnik" und „Einfluß moderner Rechnerentwicklung auf die Automatisierungstechnik" vorangestellt. Der Berichtsband vermittelt nicht nur eine gute Übersicht zu den aktuellen Trends in der Meß- und Automatisierungstechnik, sondern gibt zugleich vielfältige Anregungen vor allem für den in der Praxis tätigen Ingenieur. Die meist sehr gut verständlichen Darstellungen tragen dazu bei, daß einerseits ein breiter Einblick in den sich vollziehenden Wandlungsprozeß der Meß- und Automatisierungstechnik gegeben wird, neue Erkenntnisse vermittelt werden und andererseits über nützliche Erfahrungen beim Einsatz moderner Methoden, Strategien und Mittel berichtet wird.
Treffend wird im Vorwort formuliert, daß nirgendwo die intelligente Verschmelzung der drei großen C — Computer, Control und Communication — deutlicher demonstriert wird als in der modernen industriellen Meß- und Automatisierungstechnik. Diesem Sachverhalt trägt der vorliegende Band konsequent Rechnung. Er wird so zu einer Fundgrube für alle Entwickler und Anwender moderner Meß- und Automatisierungstechnik.

B 2263 H. TÖPFER

Analysis and Optimization of Systems. Proceedings of the Seventh International Conference on Analysis and Optimization of Systems, Antibes, June 25—27, 1986. Herausgeber: A. BENSOUSSAN und J. L. LIONS. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1986. 901 Seiten.

Der Bericht über die in Antibes/Frankreich veranstaltete Tagung erscheint in der bekannten Aufmachung als Band 83 der „Lecture Notes in Control and Information Sciences". Abgedruckt werden die Manuskripte von 4 „invited lectures" (LIONS: Exakte Steuerbarkeit (örtlich) verteilter Systeme; RISSANEN: Stochastische Komplexität und statistische Inferenz; DAVENPORT: Symbolische Rechnung: eine Formel für 10000 Zahlen; KWAKERNAAK: Steuerungsentwurf und H^{∞}-Optimierung) sowie von 69 Vorträgen, die in den folgenden 12 Sektionen gehalten wurden: Optimierung und Systeme mit (örtlich) verteilten Parametern (10 Vorträge); Adaptive Regelungen mit Anwendungen (4); Systeme mit diskreten Ereignissen, Fertigungsautomatisierung (7); Nichtlineare Systeme (11); Lineare Systeme, CACSD (computer aided control system design) (6); Modellierung (5); Stochastische Systeme (6); Singuläre Pertubationen, Stabilität (6); Applications (4); Steuerungs- und Spieltheorie (4); Bioengineering und biotechnologische Systeme (3); Filterung und Anwendungen (3). Die vom französischen Forschungsinstitut für Informatik und Automatisierung organisierte Tagung umfaßte also ein recht breites Feld. Die Referenten kamen aus 21 Ländern, mit deutlicher Majorität aus dem Gastgeberland (28), gefolgt von den USA (16), Italien (8) und den Niederlanden (6). Aus dem deutschsprachigen Raum war nur die Hochschule für Ökonomie Wien mit einem Vortrag vertreten. Natürlich wendet sich die Mehrzahl der Beiträge, zu 70% in englischer, der Rest in französischer Sprache verfaßt, vordergründig an die Spezialisten des jeweiligen (Teil-)Gebiets und zeichnet sich durch hohes Niveau, auch der Formalisierung, aus. Eingestreute Hinweise lassen aber auch die praktische Relevanz einiger Ergebnisse durchscheinen. Eine sorgsame Auswertung des Bandes ist für den auf dem jeweiligen Fachgebiet Forschenden wie auch für den für wissenschaftsstrategische Entscheidungen Verantwortlichen angezeigt.

B 2242 G. BRACK

Einführung in die logische Programmierung mit PROLOG. Von F. BELLI. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1986. 277 Seiten.

Durch die Entwicklungen auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz hat die logische Programmierung und damit unmittelbar verbunden die logische Programmiersprache PROLOG an Bedeutung gewonnen.
Der Autor stellt sich das Ziel, den Leser schrittweise an die logische Programmierung mit der Sprache PROLOG heranzuführen. Nach einem einleitenden Kapitel über die Notwendigkeit logischer Programmiersprachen und der Betrachtung wesentlicher Unterschiede zur Programmierung in algorithmischen Sprachen wird an ausgewählten Beispielen PROLOG einführend vorgestellt. Bevor die Sprache tiefgründiger behandelt wird, werden im Kapitel 3 Grundlagen der Prädikatenlogik erster Ordnung dargestellt. Auf diese Betrachtungen aufbauend, wird dann in den folgenden Kapiteln die Programmiersprache PROLOG schrittweise eingeführt. Die theoretischen Betrachtungen werden sehr gut und wirkungsvoll durch einfache Beispiele unterstützt. Sehr wertvoll sind auch die jedem Kapitel angefügten Übungsaufgaben, deren gewissenhafte Lösung eine gute Voraussetzung für das Studium der weiteren Kapitel ist. Häufig benötigte Listenoperationen, die ein gutes Hilfsmittel für Anfänger in der PROLOG-Programmierung sind, werden ebenso betrachtet wie die Vor- und Nachteile logischer und algorithmischer Programmierung anhand umgesetzter Beispiele in PROLOG und PASCAL.
Den Abschluß des Buches bildet die Darlegung der allgemeinen Herangehensweise bei der Umsetzung eines Problems in die logische Programmiersprache PROLOG, erläutert an einem größeren Beispiel.
Die im Anhang abgebildeten Syntax-Diagramme von PROLOG erleichtern die Einarbeitung in die Sprache und unterstützen den Anfänger bei der Erstellung syntaktisch richtiger PROLOG-Programme.
Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß das Buch sehr gut zur Einführung in die logische Programmierung mit PROLOG aber auch als Nachschlagewerk geeignet ist. Damit kann es sowohl Anfängern als auch Fortgeschrittenen auf dem Gebiet der logischen Programmierung empfohlen werden.

B 2255 J. WERNSTEDT

Mathematical Foundations of Computer Science 1986. Proceedings of the 12th Symposium Bratislava, Czechoslovakia, August 25—29, 1986. Herausgeber: J. GRUSKA, B. ROVAN und J. WIEDERMANN. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1986. 650 Seiten.

Dieser Tagungsbericht bringt Übersichten und neue Ergebnisse aus der Informatik von der Ebene der Schaltkreise bis zur abstrakten Systemtheorie. Diese Ergebnisse sind heute von ihrem Grundgehalt bis zur unmittelbaren Nutzung auch für die Automatisierungstechnik von großem Interesse. In diesem Band 233 der Lecture Notes in Computer Science werden 14 „invited Papers" und 48 Kommunikationsbeiträge (ausgewählt aus 115 Angeboten) vorgestellt. Sie sind in ihrer Vielschichtigkeit auf unterschiedlichen theoretischen Ebenen recht sorgfältig und inhaltsreich geschrieben. Im Regelfall werden umfassende Literaturangaben gemacht, die wesentliche Anregungen zu weiteren Studien geben. Stichwortartige Kennzeichnung ausgewählter Übersichtsbeiträge: Probabilistische Algorithmen, die effektiver sind als determinierte Algorithmen; Lernen in Systemen mit Wissensbasis; implizite Datenstrukturen; algebraische Typen; paralleles automatisches Rechnen; elektronisches Prototyping; algebraische Theorie der Modul-Spezifikation. Folgende Aspekte aus ausgewählten Kommunikationsbeiträgen seien aufgelistet: Berechnung und Simulation von VLSI-Schaltkreisen; realistischere determinierte Simulation idealisierter paralleler Computer- Automatentheorie; künstliche Intelligenz; Sprachen, die PROLOG enthalten; Beiträge zum verteilten Rechnen; neue Programme für schnelles Sortieren, für die Erzeugung von Pseudozufallszahlenfolgen; Feststellung von Deadlocks.
Der Berichtsband enthält eine Fülle von Anregungen, die auch für den Leser von msr mit theoretischem Interesse von Bedeutung sind. Diesem Leserkreis kann empfohlen werden, die Proceedings einzusehen. Einen schnellen Einblick in die im Beitrag formulierten Ergebnisse geben die aussagekräftigen Zusammenfassungen. Alle Beiträge sind in englischer Sprache geschrieben.

B 2244 G. SCHWARZE

Kurzfassungen

LUNZE, J.:

Strukturelle Analyse rückgekoppelter Systeme mit Hilfe von PROLOG

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 386—390

An Beispielen aus der strukturellen Regelungstheorie wird demonstriert, daß sich strukturelle Probleme sehr einfach als logisches Programm notieren und mit Hilfe eines PROLOG-Interpreters lösen lassen. Das dafür notwendige Programm wird vollständig angegeben und schrittweise erläutert.

WELLER, W.:

Ein selbstorganisierender Klassenregler

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 391—395

Für die Lösung des Problems der direkten Automatisierung menschlichen Reglerverhaltens wird ein selbstorganisierender Klassenregler vorgeschlagen. Anhand durchgeführter Simulationsexperimente werden der funktionelle Nachweis geführt und die Verhaltenseigenschaften bestimmt.

SEDDIG, H.-P.:

Aspekte der Selbstdiagnose für den Einsatz in dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 395—399

In modernen dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen erlangen fortgeschrittene Methoden der Selbstdiagnose eine zunehmende Bedeutung. Der Beitrag behandelt die Entwicklung einer geeigneten Diagnosestrategie mit dem Ziel, eine angemessene Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit derartiger Anlagen zu erreichen. Als Ergebnis dieser Arbeiten wird das Diagnosesystem DIDEP vorgestellt.

WILFER, H.-P.:

Meßgerät zur Bestimmung der Feuchte von mehrphasigen Stoffen

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 400—402

Im Beitrag wird ein neuartiges Feuchtemeßgerät vorgestellt, daß die Abhängigkeit der spezifischen Schallimpedanz vom Feuchtegehalt des Stoffes zur Anzeige bringt. Die physikalischen Grundlagen des Meßverfahrens sowie die Meßschaltung werden beschrieben.
Das vorgestellte Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Meßgeschwindigkeit und Empfindlichkeit sowie durch einen großen Meßbereich aus.

HEBESTREIT, A.; WOLF, J.:

Messung der Wasserdampftaupunkttemperatur in Hochdruckgasleitungen

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 403—405

Ausgehend von einem kurzen Überblick zu meßtechnischen Problemen bei der Bestimmung des Wasserdampftaupunktes werden Lösungen zum Sensorelement, zum Umwerteverfahren, zur Meßortwahl und zur Fehlerbestimmung dargestellt.

GÄRTNER, N.; GATZMANGA, H.:

Untersuchung zur Bestimmung des Übertragungsverhaltens von nichtdispersiven Infrarot-Prozeßanalysatoren

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 405—407

Untersucht wird das Übertragungsverhalten von Bauelementen, die als Alternative zu konventionellen optopneumatischen Detektoren einsetzbar sind. Die wichtigsten, praktisch einsetzbaren Detektoren werden dargestellt und diskutiert. Dabei zeigt sich, daß für damit aufbaubare Meßgrößenumformer bei Berücksichtigung technisch-physikalischer und ökonomischer Parameter ein Polyoptimierungsproblem besteht. Die Lösung dieses Problems ist von der Wahl der Zielfunktion abhängig.

LIESIGK, R.; LORENZ, G.:

Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen im Fotochemischen Kombinat Wolfen (FCK)

msr, Berlin 31 (1988) 9, S. 408—412, 415

Es wird ein Beratungssystem zur Planung und Auswertung von Versuchen vorgestellt. Dabei wird besonders auf die Systemstruktur, das Konzept der beratenden Komponente und den gegenwärtig nutzbaren Grundausbau eingegangen.

Резюме

LUNZE, J.:

Структурный анализ обратно связиных систем с помощью ПРОЛОГ

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 386—390

На примерах, взятых из структурной теории регулирования, показано, что структурные проблемы очень просто пишутся как логическая программа и решаются с помощью интерпретера ПРОЛОГ. Требуемая для этой цели программа полностью указана и пояснена по этапам.

WELLER, W.:

Самоорганизующийся регулятор классов

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 391—395

Для решения проблемы непосредственной автоматизации неверного поведения регулятора предлагается самоорганизующийся регулятор классов. На основе проведенных опытов моделирования дано функциональное доказательство и определены свойства поведения.

SEDDIG, H.-P.:

Аспекты самодиагноза для применения в децентральных системах автоматизации процессов

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 395—399

В современных децентральных системах автоматизации процессов прогрессивные методы самодиагноза приобретают все более важное значение. Данная статья рассматривает развитие подходящей стратегии диагноза с целью достижения соответствующей надежности и коэффициента готовности таких установок. В результате этих работ представлена диагнозная система ДИДЕП.

WILFER, H.-P.:

Измерительный прибор для определения влажности многофазных веществ

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 400—402

В данной статье представлен новый влагомер, указывающий зависимость удельного полного акустического сопротивления от содержания влажности вещества. Описаны физические основы метода измерения, а также схема измерения. Представленный метод характеризуется высокой скоростью измерения и чувствительностью, а также большим диапазоном измерения.

HEBESTREIT, A.; WOLF, J.:

Измерение температуры точки росы водяного пара в газопроводах высокого давления

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 403—405

Исходя из короткого обзора о проблемах техники измерения при определении точки росы водяного пара представлены решения по элементу датчика, методу оценки, выбору места измерения и определению погрешностей.

GÄRTNER, N.; GATZMANGA, H.:

Исследование по определению переходной характеристики недисперсионных инфракрасных анализаторов процесса

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 405—407

Исследуется переходная характеристика элементов, альтернативно применяемых к традиционным оптопневматическим детекторам. Представлены и обсуждены основные, применяемые на практике детекторы. При этом очевидно, что для построенных этим преобразователей измеряемых величин учитывая технические физические и экономные параметры существует проблема полиоптимизации. Решение этой проблемы зависит от выбора целевой функции.

LIESIGK, R.; LORENZ, G.:

Система обсуждения для планирования и оценки опытов на фотохимическом комбинате г. Вольфен (ФЦК)

msr, Berlin 31 (1988) 9, стр. 408—412, 415

Представлена система обсуждения для планирования и оценки опытов. При этом специально отмечены структура системы, концепт компонента обсуждения, используемый в настоящее время фундамент.

Summaries

LUNZE, J.:

Structural Analysis of Feedback Systems by Means of PROLOG

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 386—390

The author demonstrates by means of examples from the structural control theory that structural problems can be easily described as a logical program and solved by the use of a PROLOG interpreter. The program necessary for that is completely given and explained step by step.

WELLER, W.:

A Self-organizing Class Controller

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 391—395

For solving the problem of direct automation of the human feedback controller behavior the author proposes a self-organizing class controller. By means of simulation experiments carried out the functioning is verified and the behavior characteristics are determined.

SEDDIG, H.-P.:

Aspects of a Self-Diagnosis for the Use in Decentralized Process Automation Systems

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 395—399

In modern decentralized process automation systems new methods of self-diagnosis are becoming more and more important. The author deals with the development of a suited diagnosis strategy in order to obtain an adequate reliability and availability of such installations. As a result of this work he presents the diagnosis system DIDEP.

WILFER, H.-P.:

Device for Measuring the Humidity of Multiphase Substances

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 400—402

The author presents a new humidity measurement device which indicates the dependence of the specific sound impedance upon the humidity contents of the substance. The physical fundamentals of the measurement method and the measurement circuit are described. The method presented is characterized by a high measurement speed and sensitivity as well as by a large measurement range.

HEBESTREIT, A.; WOLF, J.:

Measurement of the Water Vapour Dew Point Temperature in High Pressure Gas Mains

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 403—405

Starting from a brief survey on problems in measuring the water vapour dew point the authors present solutions for the sensor element, transformation method, choice of the sensing point and error determination.

GÄRTNER, N.; GATZMANGA, H.:

Studies for Determining the Transfer Behavior of Non-Dispersive Infrared Process Analyzers

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 405—407

The authors study the transfer behavior of components which are applicable as an alternative for conventional opto-pneumatic detectors. The most important detectors practically applicable are presented and discussed. It results that in the construction of transmitters under consideration of technico-physical and economical parameters a poly-optimization problem exists, its solution depending upon the choice of the performance function.

LIESIGK, R.; LORENZ, G.:

Advisory System for Planning and Evaluating Experiments in the Fotochemisches Kombinat Wolfen (FCK)

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 408—412, 415

The authors present an advisory system for planning and evaluating experiments, the system structure, the concept of the advisory component and the basic system variant applicable at present being treated in particular.

Résumés

LUNZE, J.:

L'analyse structurale des systèmes à retour à l'aide de PROLOG

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 386—390

A l'aide d'exemples de la théorie structurale des asservissements, l'auteur montre que les problèmes structuraux peuvent être facilement décrits comme programme logique et résolus par une routine d'interprétation en PROLOG. Le programme nécessaire pour cela est complètement donné et expliqué pas à pas.

WELLER, W.:

Un régulator de classe auto-organisant

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 391—395

Pour la solution du problème de l'automatisation directe du comportement de régulateur humain, l'auteur propose un régulateur de classe auto-organisant. A l'aide des expériences de simulation exécutées, on vérifie le fonctionnement et détermine les caractéristiques de comportement.

SEDDIG, H.-P.:

Aspects de l'auto-diagnose pour l'emploi dans les systèmes décentralisés de l'automatisation de processus

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 395—399

Dans les systèmes modernes décentralisés de l'automatisation de processus, les méthodes nouvelles de l'auto-diagnose deviennent de plus en plus importantes. L'auteur traite le développement d'une apte stratégie de diagnose pour obtenir une fiabilité et une disponibilité adéquates de telles installations. Comme résultat de ces travails, il présente le système de diagnose DIDEP.

WILFER, H.-P.:

Dispositif pour la mesure de l'humidité des substances polyphasées

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 400—402

L'auteur présente un dispositif nouveau pour la mesure de l'humidité qui affiche la dépendance de l'impédance sonore spécifique du contenu d'humidité de la substance. Les fondements physiques de la méthode de mesure et le circuit de mesure sont décrits. La méthode présentée est caractérisée par une haute vitesse et sensibilité de mesure ainsi que par une grande gamme de mesure.

HEBESTREIT, A.; WOLF, J.:

Mesure de la température du point de rosée de vapeur de l'eau dans les conduites de gaz à haute pression

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 403—405

A partir d'un bref aperçu sur les problèmes dans la mesure du point de rosée de vapeur de l'eau, les auteurs présentent des solutions pour l'élément de capteur, la méthode de transformation, le choix du point de mesure et la détermination d'erreurs.

GÄRTNER, N.; GATZMANGA, H.:

Etudes pour la détermination du compqrtement de transfert des analysateurs de processus à infrarouge non-dispersifs

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 405—407

Les auteurs étudient le comportement de transfert des composants qui sont applicables comme une alternative pour les détecteurs opto-pneumatiques conventionnels. Les détecteurs les plus importants et applicables pratiquement sont présentés et discutés. Il résulte que pour la construction des convertisseurs de mesure sous la considération des paramètres technico-physiques et économiques, un problème de la poly-optimisation existe dont la solution dépend du choix de la fonction du gain.

LIESIGK, R.; LORENZ, G.:

Système consultatif pour la planification et l'évaluation des expériences en Fotochemisches Kombinat Wolfen (FCK)

msr, Berlin 31 (1988) 9, pp. 408—412, 415

Les auteurs présentent un système consultatif pour la planification et l'évaluation des expériences. Ils s'occupent particulièrement de la structure de système, du concept de la composante consultative et du système de base applicable à présent.

Neue Bücher aus der UdSSR

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] SOLOMACHIN, I.; FATEEV, A.: Avtomatizirovannye sistemy upravlenija v metallurgičeskoj promyšlennosti (Automatisierte Systeme zur Steuerung der metallurgischen Produktion). Metallurgija. 4. Quart. 1989. NK 88-2 (467).

[2] BOR-RAMENSKIJ, A.: Technologičeskie i techničeskie moduli avtomatizirovannych proizvodstv (Technologische und technische Module für automatisierte Produktion). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (101).

[3] Ikonika. Cifrovaja obrabotka videoinformacii (Ikonik. Digitale Verarbeitung von Videoinformation). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (102).

[4] IL'IN, V.: Intellektual'naja sistema programmirovanija (Intelligentes Programmiersystem). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 88-3 (103).

[5] IOFFE, M.: Diagnostirovanie logičeskich sistem (Diagnose logischer Schaltungen). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (104).

[6] Modeli v sistemach obrabotki dannych (Modelle in Systemen der Datenverarbeitung). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (105).

[7] Effektivnost' gibkich proizvodstvennych sistem (Effektivität flexibler Produktionssysteme). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (106).

[8] MART'JANOV, V.; MANCIVODA, A.; NIKOLENKO, A.: Avtomatičeskoe dokazatel'stvo teorem i logičeskoe programmirovanie (Automatischer Theorembeweis und logische Programmierung). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (112).

[9] Mnogokriterial'naja optimizacija: vybor iz množestv so strukturoj (Polyoptimierung: Auswahl aus einer Menge mit Struktur). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (113).

[10] VORONOV, JU.: Komp'juterizacija. Šag v buduščee (Computerisierung. Schritt in die Zukunft). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (250).

[11] Pakety prikladnych programm. Matematičeskoe modelirovanie (Anwenderprogrammpakete. Mathematische Modellierung). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-3 (251).

[12] KATKOV, V.: Personal'nye EVM — novyj instrument optimizacii (Personalcomputer — ein neues Instrument der Optimierung). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1989. NK 88-4 (288).

[13] KORŽENEVIČ, JU.; KOBAJLO, A.: Sintez vyčislitel'nych struktur (Synthese von Rechnerstrukturen). Nauka i technika (BSSR). 1. Quart. 1989. NK 88-4 (286).

[14] LEONOVIČ, E.; ŽEVELEV, B.: Avtomatizacija kodirovanija izoob'ektnoj informacii (Automatisierung der Kodierung von Isoobjekt-Information). Nauka i technika (BSSR). 1. Quart. 1989. NK 88-4 (223).

[15] Sistemnye issledovanija. Metodol. problemy (Systemforschung. Methodologische Probleme). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (10).

[16] Imitacionnye sistemy prinjatija ekonomičeskich rešenij (Simulationssysteme zur ökonomischen Entscheidungsfindung). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (41).

[17] ČIRČENKO, O.: Informacionnye aspekty komp'juterizacii (Informationelle Aspekte der Computerisierung). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (49).

[18] BURKOV, V.: Aktivnye sistemy (Aktive Systeme). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (76).

[19] Sistemy očuvstvlenija promyšlennych robotov i gibkich proizvodstvennych sistem (Systeme zur Wahrnehmung in Industrierobotern und flexibler Automatisierung). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (78).

[20] Upravlenie v raspredelennych informacionnych sistemach (Steuerung in verteilten Informationssystemen). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (79).

[21] Ekspertnye sistemy: sostojanie i perspektivy (Expertensysteme: Zustand und Perspektiven). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (81).

[22] Elektronnaja technika v avtomatike (Elektronische Technik in der Automatik). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-5 (175).

[23] Sistemnye issledovanija. Metodol. problemy (Systemforschung. Methodologische Probleme). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (4).

[24] GRAŽDANNIKOV, E.: Ekstrapoljacionnaja prognostika. Klassifikacionnoe i matematičeskoe modelirovanie v istoričeskich i prognostičeskich issledovanijach (Extrapolationsprognostik. Klassifikation und mathematische Modellierung in historischen und prognostischen Untersuchungen). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (8).

[25] ZAJKIN, V.; KAZAKEVIČ, G.: Makroekonomičeskie modeli narodnogo chozjajstva RSFSR (Makroökonomische Volkswirtschaftsmodelle der RSFSR). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (74).

[26] Modeli dinamičeskogo balansa narodnogo chozjajstva (Dynamische Verflechtungsmodelle der Volkswirtschaft). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (81).

[27] GORSKIJ, JU.: Sistemno-informacionnyj analiz processov upravlenija (Informationelle Systemanalyse der Steuerprozesse). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (120).

[28] Issledovanija po teorii struktur (Untersuchungen zur Strukturtheorie). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (121).

[29] Obrabotka i predstavlenie dannych v čelovekomašinnych sistemach (Verarbeitung und Darstellung von Daten in Mensch-Maschine-Systemen). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (122).

[30] SMOTKIJ, O.; FABRIKOV, V.: Metody teorii sistem i preobrazovanij v optike (Methoden der Systemtheorie und Transformation in der Optik). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (124).

[31] Teorija upravlenija. Terminologija (Steuerungstheorie. Terminologie). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (125).

[32] Effektivnost' složnych sistem. Dinamičeskie modeli (Effektivität komplizierter Systeme. Dynamische Modelle). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (126).

[33] JASTREBOV, V.; ARMIŠEV, S.: Algoritmy adaptivnogo dviženija podvodnogo robota (Algorithmen zur adaptiven Bewegung von Unterwasserrobotern). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (127).

[34] Modeli i metody issledovanij v sistemach informatiki (Modelle und Methoden zur Untersuchung in Systemen der Informatik). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87-49 (128). msr 8886

Impressum

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon 2 87 00; Telex: 011 222 8 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. KLAUS HIERONIMUS

Redaktion: Dr.-Ing. DIETRICH WERNER, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2 87 03 62)
Dr.-Ing. JÜRGEN WEDE, Redakteur (Telefon: 2 87 03 74)

Gestaltung: KAREN WOHLGEMUTH (Telefon: 2 87 02 88)

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15 936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Rechtsvorbehalt: Nachdrucke, Übersetzungen sowie Vervielfältigung jeglicher Art von vollständigen oder auszugsweisen Text- oder Bildbeiträgen bedürfen der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlages. Referate, Besprechungen und genehmigte Vervielfältigungen sind nur mit genauer Quellenangabe zulässig. Erfüllungsort ist der Sitz des Verlages in Berlin-Mitte.

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Bruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlače, Posta 002 885 47 Bratislava

SFR Jugolawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarako Produzeče MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones. O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. Bukureşti, Piaţa Scienteii, Bukureşti

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstraße 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen:

Die Redaktion veröffentlicht nur Originalbeiträge. Für Nachdrucke, Übersetzungen oder Vervielfältigungen jeglicher Art gilt der Rechtsvorbehalt. Die Redaktion behält sich Änderungsvorschläge bei der Beitragsbearbeitung vor. Die Beiträge müssen generell mit einer Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes oder der Institution der Autoren versehen sein.

Bei der Anfertigung von Beiträgen sind unbedingt die Manuskripthinweise zu beachten. Diese sind dem Heft 5/1988, S. 237, zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung der Manuskripthinweise bildet die Voraussetzung für eine zügige und sachgerechte Beitragsbearbeitung.

Fachtagung „Fortschritte in der Automatisierungstechnik"

Die Fachtagung wird vom FUA Meß- und Gerätetechnik im Fachverband Chemische Technik der KDT am 27. Oktober 1988 im Klubhaus „Freundschaft" des Kombinates VEB Chemische Werke Buna in Schkopau veranstaltet.
Folgende Vorträge sind vorgesehen:

- Trends bei Mikrorechner-Automatisierungsanlagen
- Technische und technologische Diagnostik — Erfordernis und Möglichkeit der modernen Meß- und Gerätetechnik
- Die Automatisierungsfunktion Prozeßsicherung
- Störfestigkeit elektronischer Automatisierungsgeräte
- audapas-Drucksensoren für die Automatisierungstechnik
- Einsatz moderner Prozeßleitsysteme zur Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse
- Rechnergestütztes Automatisierungssystem für die Chloralkali-Elektrolyse nach dem Amalgam-Verfahren.

Interessenten wenden sich bitte an

Kombinat
VEB Chemische Werke Buna
Abteilung ICE, C 34
Dipl.-Phys. *H. Iltzsche*
Schkopau
4212
Tel.: Merseburg 49 73 58.

2. Tagung „Industrielle Wägetechnik"

Die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT veranstaltet im Mai 1989 in Berlin gemeinsam mit dem Fachunterausschuß „Kraftmeß- und Wägetechnik", dem VEB Kombinat NAGEMA, dem VEB Robotron Meßelektronik und dem ASMW, Bereich Meßwesen, die 2. Tagung „Industrielle Wägetechnik".

Inhaltliche Schwerpunkte der Tagung:

- Entwicklung industrieller Wägesysteme sowie dazugehörender Baugruppen
- Wägetechnik als Voraussetzung zur Beherrschung von Schlüsseltechnologien
- Wägetechnik zur Qualitätssicherung in industriellen Prozessen
- im Ratiomittelbau gefertigte prozeßspezifische Wägetechnik
- Metrologische Sicherung von Wägesystemen

Vortrags- und Teilnahmemeldungen sind schriftlich zu richten an:

Kammer der Technik — Präsidium
WGMA
Clara-Zetkin-Str. 115—117
Berlin
1086
Tel.: 2265218/2265304

Termine:

Vortragsanmeldungen einschließlich Kurzfassung des Vortrages bis September 1988
Teilnahmemeldung bis 5. Dezember 1988

13. Mikroelektronik-Bauelemente-Symposium

In der Zeit vom 8. bis 12. Mai 1989 veranstalten der VEB Kombinat Mikroelektronik und der Bezirksvorstand der KDT Frankfurt (Oder) das 13. Mikroelektronik-Bauelemente-Symposium. Die Schirmherrschaft der Veranstaltung hat der Minister für Elektrotechnik und Elektronik, Felix Meier, übernommen.
Um 2500 Interessenten die Teilnahme zu ermöglichen, sind zwei nacheinander folgende Veranstaltungen mit gleichem Fachvortrags- und Ausstellungsprogramm vorgesehen.
Die Veranstaltung soll das Leistungsniveau der Mikroelektronik in der DDR demonstrieren. Dazu gehört die Vorstellung des erweiterten Bauelementesortiments und seiner Anwendungen in den Gebieten

- flexible automatisierte Fertigung, Prozeßsteuerung und -meßtechnik
- CAD/CAM-, Rechen- und Bürotechnik
- Nachrichten- und Kommunikationstechnik
- Verkehr und Transport
- wissenschaftlicher Gerätebau, Medizintechnik
- Leistungselektronik
- Konsumgüterleketronik.

Neben einem Grundsatzreferat von Minister Meier und Plenarvorträgen stehen etwa 40 Fachvorträge von Vertretern der Bauelemente- und Anwenderindustrie sowie der angewandten Forschung auf dem Programm.
Eine Ausstellung mit mehr als 100 Exponaten aus den genannten Anwendungsgebieten bietet neben individuellen Konsultationsmöglichkeiten auch die Möglichkeit von Fach- und Posterdiskussionen sowie Gruppenführungen.
Insbesondere sollen Anwenderleistungen für den Bauelementeentwurf sowie der Anteil von Hoch- und Fachschulen, der AdW der DDR und anderer wissenschaftlicher Institute an der Mikroelektronikentwicklung deutlich gemacht werden.
Teilnahmemeldungen bis zum 28. Februar 1989 an folgende Adresse:

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)
Betriebssektion der KDT
Postfach 379
Frankfurt (Oder)
1200.

Betriebsweise Meldung der Teilnehmerwünsche bis zum 30. September 1988 an die gleiche Adresse erbeten.

Fachtagung Arbeitsplatzcomputer A 7150 / Personalcomputer EC 1834

Am 12. Oktober 1988 veranstaltet die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT im Museum für Deutsche Geschichte in Berlin die o. g. Fachtagung.
Schwerpunkte der Veranstaltung sind:

- Konzeption und Kompatibilitätseigenschaften der Geräte
- Überblick über Betriebssystem und Softwareangebot
- Vorstellung des integrierten Systems MULTICOMP
- Vorstellung von GRAMOS — eine CAD/CAM-Lösung
- Einsatzerfahrungen zur Gerätetechnik.

Teilnahmemeldungen sind an folgende Anschrift zu richten:

Kammer der Technik — Präsidium
WGMA
Postfach 1315
Berlin
1086
Telex: 0114841 techkammer.

Fließgeschwindigkeitsmessung auf Laserbasis

Die *Kansai University*/Japan hat ein Fließgeschwindigkeitsmeßgerät auf Laserbasis für nichttransparente Flüssigkeiten entwickelt. Als Sensor dienen zwei verbundene Quarzglasfasern mit jeweils einem Manteldurchmesser von 62,5 µm und einem Kerndurchmesser von 50 µm. Eine der Fasern dient dazu, das Licht eines He-Ne-Gaslasers in die zu untersuchende Flüssigkeit zu leiten, die andere Faser nimmt das von den Mikropartikeln der Flüssigkeit reflektierte Licht wieder auf. Das Meßgerät bestimmt die Geschwindigkeit aus der Frequenzänderung, die durch den Doppler-Effekt während der Reflexion entsteht.

Unser Verlag sucht ab 1989 Beteiligung an Kinderferienlager für etwa 20 Kinder — Betreuer werden gestellt.

Angebote richten Sie bitte an:

VEB Verlag Technik
Redaktion
messen-steuern-regeln
Oranienburger Str. 13—14
Berlin
1020

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 31 (1988) 9, S. 385—432

13950 Y
APW
4073 7001 1400
159 549 964
SHAT 11/10

Neuerscheinungen

Petri-Netze in der Steuerungstechnik

Von Dr. rer. nat. Rainer König und Dr.-Ing. Lothar Quäck
200 Seiten, 226 Bilder, 10 Tafeln Kunstleder, DDR 28,— M, Ausland 36,— DM.
Bestellangaben: 5539245/König, Petri-Netze

Ein Petri-Netz ist ein graphisches Darstellungsmittel, mit dem man sowohl statische als auch dynamische Eigenschaften von Prozessen beschreiben kann. Mit Hilfe von Petri-Netzen ist es dem Steuerungstechniker möglich, umfangreichere Steuerungen in kürzerer Zeit zu entwerfen. Daher besteht ein großes Interesse an einer Einführung in das Petri-Netzkonzept, das auf den Erfahrungen des Steuerungstechnikers aufbaut.
Die Autoren führen die Leser in anschaulicher Weise und praxisgerecht in das Netzkonzept ein, wobei die Fragen des Entwurfs binärer Steuerungen im Vordergrund stehen. Methodisch wird dabei von den Erfahrungen des Praktikers ausgegangen, die netztheoretischen Aussagen werden aus praxisnahen Beispielen hergeleitet. Sorgfältig gestaltete Bilder unterstützen die Anschaulichkeit.

Hauptabschnitte:

Einleitung · Petri-Netze, ein Mittel zur Modellierung von Prozessen Grundlagen des Petri-Netz-Konzepts · Interpretierte Petri-Netze · Hardwarerealisierung von Petri-Netzen · Zeitbewertete Petri-Netze · Realisierung zeitbewerteter steuerungstechnisch interpretierter Petri-Netze · Anwenderprojekt „Hochleistungs-Stufenumformautomat".

Entwurf von adaptiven Systemen

Eine Darstellung für Ingenieure

Von Doz. Dr. sc. techn. Klaus-Peter Schulze und Dr.-Ing. Klaus-Jürgen Rehberg
244 Seiten, 201 Bilder, Leinen, DDR 33,— M, Ausland 42,— DM.
Bestellangaben: 5537629/Schulze, Entwurf

Aufgrund ihrer bemerkenswerten Eigenschaft, sich selbsttätig an unbekannte oder zeitveränderliche Betriebsbedingungen anzupassen, sind adaptive Systeme in allen Bereichen der Industrie sehr universell einsetzbar. Die Mikrorechentechnik gestattet auch erstmals die umfassende technische Realisierung. In der Monographie wird sehr anschaulich durch zahlreiche Bilder, Ablaufpläne und Beispiele eine geschlossene Darstellung der wichtigsten Entwurfsprinzipien gegeben.

Hauptabschnitte:

Adaptive Systeme — Einführung, Grundlagen · Analyse und Synthese nach Empfindlichkeitskriterien, Einordnung von Empfindlichkeit und Adaption · Adaptive Eingrößensysteme · Entwicklungsstand adaptiver Systeme, aktuelle Probleme und Entwicklungstendenzen.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN